



**ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE CAMBIO  
CLIMÁTICO PARA EL PUERTO COMPAS TOLÚ**

**GILMA CECILIA FUENTES PADILLA**

**ZULADY PRETEL PALACIOS**

**UNIVERSIDAD EAN**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**MAESTRIA EN PROYECTOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

**BOGOTÁ D.C., COLOMBIA**

**16/11/2021**

ANALISIS DE VULNERABILIDAD Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE CAMBIO  
CLIMÁTICO PARA EL PUERTO COMPAS TOLU

GILMA CECILIA FUENTES PADILLA  
ZULADY PRETEL PALACIOS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

**Magister en Proyectos De Desarrollo Sostenible**

Director:

JULIEN GWENDAL CHENET

Modalidad:

**Trabajo Dirigido**

UNIVERSIDAD EAN

Facultad de Ingeniería

Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible

BOGOTÁ D.C., COLOMBIA

16/11/2021

**Índice de vulnerabilidad y medidas de adaptación  
de cambio climático para el puerto Compas Tolú**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá D.C, 01/03/2022

Dedicatoria

**A todos los seres humanos  
comprometidos con la preservación y  
el cuidado del medio ambiente y con  
hacer de este planeta un lugar mejor.**

Frase:

Se firme en tus actitudes y perseverante en tu ideal. Pero se paciente, no pretendiendo que todo te llegue de inmediato. Haz tiempo para todo, y todo lo que es tuyo, vendrá a tus manos en el momento oportuno.

Aprende a esperar el momento exacto para recibir los beneficios que reclamas. Espera con paciencia a que maduren los frutos para poder apreciar debidamente su dulzura.

M. Gandhi

## **Agradecimientos**

A nuestro tutor Julien Gwendal Chenet, por sus recomendaciones dedicación y paciencia, a la Compañía de puertos asociados - Compas S.A., por la oportunidad de desarrollar un trabajo que aporte a la organización y que esté alineado con su estrategia ambiental, por todo el personal de la Compañía que apoyaron en el suministro de información relevante, a la Red de medición de parámetros oceanográficos y de meteorología Marina (RedMpomm) de la Dirección general marítima (Dimar) y a su Centro colombiano de datos oceanográficos (Cecoldo); por el suministro de datos meteorológicos y oceanográficos vitales para el desarrollo de este trabajo, a la Universidad EAN por suministrar conocimiento y metodología, y en general a todas las personas que de una u otra manera dispusieron de su tiempo, conocimiento y dedicación para ayudarnos a culminar con éxito nuestra labor.

## Resumen

El presente documento tiene como propósito analizar e identificar los riesgos frente al cambio climático que presenta el Puerto de la COMPAÑIA DE PUERTOS ASOCIADOS S.A.S (COMPAS S.A.S) localizado en el municipio de Santiago de Tolú (Sucre). Inicialmente se realiza una breve presentación de la empresa, la ubicación de la misma. A partir del marco de referencia se describen los conceptos sobre cambio climático, amenaza, riesgo y vulnerabilidad asociada a la operación de los puertos. Así mismo, se describen algunas acciones que a nivel internacional se han implementado para mitigar, contrarrestar y/o adaptarse a las afectaciones generadas por el cambio climático a las operaciones portuarias.

Para el caso del puerto de COMPAS en Tolú, se realiza un análisis estadístico de los datos de temperatura, precipitación, nivel del mar suministrados por la Dimar (años 2003 al 2020), e información documental de los cambios de la línea de playa de un estudio realizado por la empresa Compas. A partir de esta información se determina las posibilidades de materialización de los riesgos a los impactos ocasionado por cambios climáticos en las actividades del puerto tales como: La demanda de carga, navegación y atraque, manejo y almacenamiento de carga y el transporte de mercancías, finalmente se proponen diez (10) estrategias que buscan la sostenibilidad y adaptación al cambio climático en el puerto de estudio.

**Palabras clave:** Puerto, cambio climático, riesgo, amenaza, vulnerabilidad climática, sostenibilidad, mitigación y adaptación al cambio climático.

### **Abstract**

The purpose of this document is to analyze and identify the risks to climate change presented by the Port of COMPAÑIA DE PUERTOS ASOCIADOS S.A.S (COMPAS S.A.S) located in the municipality of Santiago de Tolú (Sucre). Initially a brief presentation of the company is made, the location of the company. Based on the reference framework, the concepts of climate change, threat, risk and vulnerability associated with the operation of ports are described. Likewise, some actions that have been implemented at the international level to mitigate, counteract and/or adapt to the effects generated by climate change on port operations are described.

In the case of the COMPAS port in Tolú, a statistical analysis of the data on temperature, precipitation, sea level provided by Dimar (years 2003 to 2020), and documentary information on the changes in the beach line of a port was carried out. study carried out by the company Compas. From this information, the possibilities of materialization of the risks to the impacts caused by climatic changes in the activities of the port are determined, such as: The demand for services, navigation and berthing, handling and storage of cargo and the transport of goods, finally Ten (10) strategies are proposed that seek sustainability and adaptation to climate change in the study port.

**Keywords:** Port, climate change, risks, threats, climate vulnerability, sustainability, mitigation, and adaptation to climate change.

## Contenido

	Pág
1. INTRODUCCIÓN.....	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
2.1. Antecedentes .....	16
2.1.1. Aumento en el nivel del mar.....	16
2.1.2. Ubicación de los puertos en zonas vulnerables a las variaciones del mar.....	16
2.1.3. Riesgo o implicaciones para las operaciones portuarias originado por cambios climáticos .....	17
2.2. Descripción del problema.....	19
2.3. Pregunta de investigación .....	19
3. OBJETIVOS .....	20
3.1. Objetivo general .....	20
3.2. Objetivos específicos .....	20
4. JUSTIFICACIÓN.....	21
5. MARCO INSTITUCIONAL .....	23
5.1. Presentación general la empresa.....	23
5.2. Delimitación de la zona de estudio.....	25
5.3. Referentes estratégicos .....	26
5.4. Estructura organizacional.....	29
5.5. Productos o servicios ofertados .....	31
5.6. Análisis del sector .....	31
6. Marco de Referencia .....	33
6.1. Cambio y variabilidad climática su incidencia en América latina y el caribe.....	33
6.2. Efectos del cambio y variabilidad climática en Colombia .....	35
6.3. Bases conceptuales para la vulnerabilidad y riesgo.....	38
6.4. Características de las condiciones climáticas actuales .....	39
6.5. Evaluar el riesgo climático.....	41
6.5.1. Amenazas del cambio climático.....	43
6.5.2. Vulnerabilidad al cambio climático .....	46
6.6. Definiciones riesgo, amenaza, vulnerabilidad, GEI, huella carbono y sistemas renovables.....	48



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

6.6.1. Reducción de riesgo .....	48
6.6.2. Reducción de la amenaza.....	48
6.6.3. Reducción de la vulnerabilidad a factores amenazantes .....	48
6.6.4. Identificación de fuentes de emisiones actuales y futuras de GEI. ...	49
6.6.5. Compensación de huella de carbono.....	49
6.6.6. Sistemas de energía renovables.....	50
6.7. Medidas de adaptación frente al cambio climático .....	51
6.7.1. Acciones de adaptación al cambio climático.....	51
6.7.2. Adaptación a través de obras de infraestructura.....	52
6.7.3. El manglar como mecanismo adaptativo .....	53
6.7.4. Medidas de adaptación en el Puerto de Rotterdam .....	54
6.7.5. Medidas de adaptación en el Suroeste de Europa .....	55
6.7.6. Medidas de adaptación propuestas por la Junta de Comercio y Desarrollo .....	55
7. Diseño Metodológico .....	59
7.1. Tipo de Investigación .....	59
7.2. Fases de la Investigación .....	59
7.2.1. Componente estadístico de la investigación .....	59
7.2.2. Cálculo del índice de riesgo climático .....	60
7.2.3. Información secundaria cuantitativa de interés .....	61
7.3. Recolección de la Información y análisis.....	63
7.4. Software Especializado .....	63
7.5. Análisis externo .....	63
7.6. Análisis interno .....	64
7.6.1. Población, muestra .....	65
8. Resultados.....	66
8.1. Procesamiento Estadístico de Datos.....	66
8.2. Análisis descriptivo temperatura.....	66
8.3. Modelo analítico de temperatura .....	70
8.4. Resultados precipitación .....	78
8.4.1. Modelo analítico de precipitación .....	82
8.5. Resultados Nivel del Mar .....	91
8.6. Línea de playa.....	98
8.6.1. Obras de protección costera en el área de estudio.....	101
8.6.2. Análisis Multitemporal .....	102
8.7. Amenazas climáticas.....	103
8.8. Estimación de emisiones GEI actuales y futuras del puerto.....	104

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

8.9. Análisis interno .....	106
8.9.1. Aplicación de Matriz DOFA .....	106
8.10. Análisis interno referente a conciencia de la vulnerabilidad del cambio climático .....	108
8.11. Análisis de los Resultados.....	109
8.11.1. Análisis de vulnerabilidad para la infraestructura y operación portuaria frente a las amenazas climáticas actuales y futuras. ....	109
9. Plan de Intervención .....	114
10. Conclusiones y Recomendaciones.....	123
10.1. Conclusiones.....	123
10.2. Recomendaciones.....	126
11. REFERENCIAS.....	128

### Lista de Figuras

<b>Figura 1 Evolución en ventas Compas 2017, 2018, 2019 y 2020 en USD</b> .....	23
<b>Figura 2 Delimitación geográfica del estudio</b> .....	26
<b>Figura 3. Misión y visión</b> .....	27
<b>Figura 4 Resultados de gestión social 2020</b> .....	27
<b>Figura 5 Mapa de Proceso de Compas</b> .....	29
<b>Figura 6 Diagrama organizacional instalación portuaria</b> .....	30
<b>Figura 7 Productos o servicios ofertados por la empresa COMPAS S.A.S</b> .....	31
<b>Figura 8 Participación relativa de las diferentes zonas portuarias en el movimiento de carga en el 2020</b> .....	32
<b>Figura 9 Esquema conceptual de la probabilidad de afectación en el puerto de Compas Tolú</b> .....	38
<b>Figura 10 Clima diagramas representativos de Sucre</b> .....	40
<b>Figura 11 Número de días con lluvia anual (mm) y Temperatura media anual (°C) de Sucre</b> .....	41
<b>Figura 12 Esquema metodológico propuesto por EUROCLIMA, 2014, para evaluar infraestructura física marino costera frente a los cambios climáticos.</b> .....	42
<b>Figura 13 Áreas expuestas a diversas amenazas en zona costera de Golfo de Morrosquillo</b> .....	46
<b>Figura 14 Comportamiento acumulado de rangos de temperatura</b> .....	69
<b>Figura 15 Serie de tiempo para datos temperatura (°C)</b> .....	71
<b>Figura 16 Autocorrelaciones de la serie de tiempo para datos de temperatura (°C)</b> .....	72
<b>Figura 17 Descomposición estructural de la serie de tiempo aditiva para datos de temperatura (°C)</b> .....	73
<b>Figura 18 Serie de tiempo para datos precipitaciones mensuales (mm)</b> .....	83
<b>Figura 19 Autocorrelaciones de la serie de tiempo para datos de precipitaciones (mm)</b> ...	84
<b>Figura 20 Descomposición estructural de la serie de tiempo aditiva para datos de precipitaciones (mm)</b> .....	85
<b>Figura 21 Serie de tiempo para datos del nivel del mar (m)</b> .....	91
<b>Figura 22 Autocorrelaciones de la serie de tiempo para datos del nivel del mar (m)</b> .....	92
<b>Figura 23 Descomposición estructural de la serie de tiempo aditiva para datos del nivel del mar (m)</b> .....	93
<b>Figura 24 Diagrama parámetros geométricos de capacidad y situación de carga del buque y relación entre los mismos</b> .....	95
<b>Figura 25 Francobordo de una embarcación y las defensas en el muelle Compas Tolú</b> ....	96
<b>Figura 26 Proyección de aumento del nivel del mar en zona de estudio en mm</b> .....	97
<b>Figura 27 Sección Hincado de pilotes muelle Compas Tolú.</b> .....	98

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

<b>Figura 28 Sectores de análisis de línea de costa</b> .....	100
<b>Figura 29 Emisiones de GEI Compas Tolú – Alcances 1 y 2 (en ton CO<sub>2</sub> eq)</b> .....	104
<b>Figura 30 Comparativo de emisiones vs toneladas con otros puertos</b> .....	105
<b>Figura 31 Conciencia sobre posible afectación de cambio climático en el sector portuario</b> .....	108

### Lista de Tablas

<b>Tabla 1 PIB Colombiano y su relación con las exportaciones e importaciones</b> .....	19
<b>Tabla 2 Estaciones hidrometeorológicas del IDEAM utilizadas como fuente de información de las zonas portuarias marítimas del área de estudio</b> .....	40
<b>Tabla 3 Efectos probables del cambio climático</b> .....	45
<b>Tabla 4 Medidas adaptadas por otros puertos</b> .....	56
<b>Tabla 5 comportamiento promedio de las temperaturas</b> .....	66
<b>Tabla 6 Valores máximos de temperaturas registrados mensualmente</b> .....	66
<b>Tabla 7 Acumulado de días con rangos de temperatura histórica 2006-2015</b> .....	67
<b>Tabla 8 Acumulado de días con rangos de temperatura histórica 2006-2020</b> .....	68
<b>Tabla 9 Frecuencia de temperaturas por meses en el año</b> .....	69
<b>Tabla 10 Valores faltantes y atípicos ajustados para la construcción del modelo</b> .....	70
<b>Tabla 11 Pruebas previas a la construcción del modelo</b> .....	71
<b>Tabla 12 verificación de supuestos del modelo</b> .....	73
<b>Tabla 13 ANOVA para observaciones de temperatura por año</b> .....	74
<b>Tabla 14 Prueba de comparaciones múltiples de las medias anuales de temperatura (°C)</b> 74	
<b>Tabla 15 Tasas de variación para los promedios anuales de temperatura (°C)</b> .....	75
<b>Tabla 16 Cambio de temperatura media en °C</b> .....	77
<b>Tabla 17 información de frecuencia de días de lluvias y lluvias por meses años 2006 - 2012</b> .....	78
<b>Tabla 18 información de frecuencia de días de lluvias y lluvias por meses años 2006 – 2012</b> .....	79
<b>Tabla 19 información de frecuencia de lluvias - no lluvias por meses años 2006 - 2020</b> ....	81
<b>Tabla 20 Máximas precipitaciones de 2005 - 2020</b> .....	81
<b>Tabla 21 Valores faltantes y atípicos ajustados para la construcción del modelo</b> .....	82
<b>Tabla 22 Pruebas previas a la construcción del modelo</b> .....	83
<b>Tabla 23 Verificación de supuestos del modelo</b> .....	84
<b>Tabla 24 ANOVA para observaciones de precipitaciones por año</b> .....	85
<b>Tabla 25 Prueba de comparaciones múltiples de las medias anuales de precipitaciones (mm)</b> .....	86

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

<b>Tabla 26 Tasas de variación para los promedios anuales de precipitaciones (mm)</b> .....	87
<b>Tabla 27 % de cambio de precipitación</b> .....	88
<b>Tabla 28 Porcentaje de carga movilizada del 2015 y proyección de carga para el 2021</b> .....	89
<b>Tabla 29 Horas retraso por lluvia /año y las cargas movilizadas del 2010 al 2020</b> .....	90
<b>Tabla 30 Pruebas previas a la construcción del modelo</b> .....	91
<b>Tabla 31 verificación de supuestos del modelo</b> .....	92
<b>Tabla 32 ANOVA para observaciones del nivel del mar (m) por año</b> .....	94
<b>Tabla 33 Tasas de variación para los promedios anuales de nivel del mar (m)</b> .....	94
<b>Tabla 34 información de mareas Tolú mes de noviembre de 2021</b> .....	96
<b>Tabla 35 Se relacionan las obras de protección en el sector de la línea de playa</b> .....	101
<b>Tabla 36 Tipo de amenaza climática y probabilidad de ocurrencia</b> .....	103
<b>Tabla 37 Matriz DOFA</b> .....	106
<b>Tabla 38 Reconocimiento del tema</b> .....	109
<b>Tabla 39 Nivel de afectación de las consecuencias frente a la materialización de impactos identificados</b> .....	110
<b>Tabla 40 Escala de afectación para la Probabilidad y la consecuencia</b> .....	111
<b>Tabla 41 Magnitud del IRCE Índice de riesgo climático empresarial</b> .....	111
<b>Tabla 42 Definición de actividades susceptibles de afectar la Operación</b> .....	111
<b>Tabla 43 Índice de riesgo empresarial por amenaza y actividades susceptibles de afectar la operación</b> .....	113
<b>Tabla 44 plan de implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático puerto de compas TOLU</b> .....	114
<b>Tabla 45 Cronograma de implementación</b> .....	120
<b>Tabla 46 Relación de los expertos evaluadores de encuesta</b> .....	152
<b>Tabla 47 Resultado de validación cálculo del Coeficiente de V de Aiken</b> .....	153

## Anexos

<b>Anexo 1 Carta de aval de la empresa para realizar la intervención.</b> .....	150
<b>Anexo 2 Procedimiento para la Validación del instrumento de medición de las variables de estudio.</b> .....	151
<b>Anexo 3 Encuesta aplicada a empleados seleccionados de COMPAS.</b> .....	154
<b>Anexo 4 Género y cargo de los entrevistados</b> .....	157

## 1. INTRODUCCIÓN

Existe un consenso científico el cual considera que el planeta Tierra está presentando cambios a nivel global en relación con el clima reflejándose en alteraciones en el patrón de precipitación, aumento nivel del mar, temperaturas o incidencia de fenómenos climáticos (ciclones, tormentas, entre otros). No obstante, hay cierta incertidumbre respecto a las magnitudes de estos cambios, por ello los análisis de la vulnerabilidad y riesgo son un primer paso dirigido a sentar bases para el desarrollo de un plan de adaptación frente a los cambios climáticos (Rangel Buitrago & Posada-Posada, 2013).

El cambio climático, puede definirse como la modificación predominante en el largo plazo (siglos, milenios, entre otros), de las variables climáticas y que puede afectar de manera más trascendental a las comunidades. Mientras que la variabilidad climática, son los cambios por encima o por debajo de las condiciones normales o promedios en las variables climatológicas (IDEAM - UNAL, 2018).

Las variaciones de los eventos climáticos para el sector portuario, se consideran relevantes cuando se analizan el hecho de que los puertos marítimos son obras de infraestructura construidas a orillas de los mares y ríos navegables, que ocupan la misma posición geográfica que permite las operaciones portuarias, lo que podría implicar cierto grado de vulnerabilidad por la probabilidad de afectación de la infraestructura portuaria existente, la capacidad de drenaje de las instalaciones, el manejo y almacenamiento de la carga, afectación en los procesos de atraque de motonaves, aumento en tiempos de operación, etc. Por lo tanto, las intervenciones que conlleven a dar seguridad durante la operación para estas infraestructuras podrían implicar grandes inversiones económicas, por lo que requieren de procesos previos de planificación, por lo que es importante conocer esos riesgos, su valoración y las posibles acciones que los mitiguen o hagan menos vulnerable a la instalación portuaria.

Este estudio se lleva a cabo en la empresa Compas Tolú uno de los puertos de Compañía de puertos asociados S.A.S, única red de puertos multipropósito en Colombia; el puerto de estudio es el único Puerto en Sucre, hace parte de la zona

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

portuaria de golfo de Morrosquillo, con una ubicación geográfica estratégica para el comercio exterior por su cercanía con Antioquia y el proceso de inversión que la compañía Compas ha puesto en este Puerto, se consideró relevante llevar a cabo este estudio

Este trabajo busca responder ¿Cuál es el grado de vulnerabilidad frente al cambio climático del puerto Compas Tolú y las posibles medidas de adaptación que requiere para mantener un funcionamiento eficiente del puerto?

El proceso metodológico incluye el reconocimiento de la zona de estudio; mediante información secundaria, información de estudios llevados a cabo por Compas y reconocimiento de campo, la definición de conceptos climáticos, revisión bibliográfica que permitió identificar actividades que de una u otra forma han servido no sólo a infraestructuras portuarias sino también a ciudades costeras a minimizar el riesgo a amenazas asociados con el cambio climático, de esta forma se definen las acciones de adaptación utilizadas a nivel mundial en el proceso de mitigar la vulnerabilidad climática de este puerto. Adicionalmente, se realiza análisis de variables climáticas de temperatura, precipitación, nivel del mar suministrados por la Dimar (años 2003 al 2020) en el área de estudio. A partir de los resultados se diseñaron las medidas de adaptación acorde con las necesidades del puerto Compas Tolú

Al identificar, las posibles afectaciones y la valoración de estas; se propuso un plan en el que se definen hacia dónde y cuándo se deben direccionar las medidas de adaptación, para hacer más resiliente a Compas Tolú ante las implicaciones del cambio climático.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Aumento en el nivel del mar**

El cambio climático es una realidad incuestionable, para la cual genera diferentes implicaciones. Un ejemplo de ello lo constituye el incremento de la temperatura promedio global que se ha registrado en 0,85°C en el periodo comprendido entre 1880 y 2012 (Cepal, 2015, pág. 15).

A nivel nacional, los eventos hidrometeorológicos han aumentado 2,6 veces entre el 2009 y el 2016. Por lo que se espera que los cambios climáticos sean más severos, (Invemar 2003, 2007, 2011 *citado por* (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016, pág. 13)). Se señala un incremento del mar de 3,8 mm/año para la región del Caribe y 1,2 a 2 mm/año para la región del Pacífico, durante los últimos cincuenta años y un incremento del nivel medio de 10 cm en el Caribe y 22 cm en el Pacífico durante el mismo periodo.

#### **2.1.2. Ubicación de los puertos en zonas vulnerables a las variaciones del mar**

Las variaciones de los eventos climáticos señaladas anteriormente se consideran relevantes cuando se analizan el hecho de que los puertos marítimos son obras de infraestructura construidas a orillas de los mares y ríos navegables, que ocupan la misma posición geográfica que permite las operaciones portuarias, lo que podría implicar cierto grado de vulnerabilidad por la probabilidad de afectación de la infraestructura portuaria existente, la capacidad de drenaje de las instalaciones, el manejo y almacenamiento de la carga, afectación en los procesos de atraque de motonaves, aumento en tiempos de operación, etc.

Teniendo en cuenta la ubicación geográfica de los puertos, la operación portuaria se puede ver considerablemente afectada, primero por el incremento en el nivel del mar. Las estructuras construidas en los puertos son grandes obras de ingeniería que deben soportar el peso de equipos como grúas pórtico, *reachstaker* (grúas portacontenedores), cargadores, los grandes volúmenes de



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

carga, entre otros. Por lo tanto, las intervenciones que conlleven a dar seguridad durante la operación de este tipo de infraestructura implican grandes inversiones económicas que no podrían llevarse a cabo de un momento a otro, al contrario, requieren un proceso de previo de planificación, por lo que es importante conocer los riesgos.

Las inversiones portuarias dependen de contratos de concesiones otorgadas por la Agencia Nacional de Infraestructura – ANI, con una duración de 20 o más años. Un ejemplo de esto lo constituye la concesión portuaria emitida por la ANI al Puerto de la COMPAÑIA DE PUERTOS ASOCIADOS S.A.S (COMPAS S.A.S) en el municipio de Santiago de Tolú (Sucre), otorgada mediante el contrato de concesión portuaria No.015 de 26 de septiembre de 1996 y renovada mediante el Otrosí No. 05 de septiembre de 2016 a través del cual se e amplió la concesión portuaria por el termino de veinte (20) años<sup>1</sup> (26 de septiembre de 2036), contados a partir del vencimiento del plazo inicial de la Concesión.

### **2.1.3. Riesgo o implicaciones para las operaciones portuarias originado por cambios climáticos**

Las operaciones portuarias pueden ser afectadas grandemente por la variabilidad de las condiciones hidrometeorológicas que puede conllevar el cambio climático, ejemplo de ello son los fuertes oleajes, vientos, altas temperaturas, aumento de precipitaciones, e incluso la afectación de la cadena de suministros en relación a las cosechas y cultivos originados por aumento o disminución de las temporadas de lluvias, ya que esa carga no podrá ser producida, ni comercializada. Finalmente, afectará los volúmenes de exportación e importación lo que implicaría perdidas, dado que los puertos tienen una estructura construida para atender el 50% de carga de graneles (silos de almacenamiento y bandas transportadoras). Al no estar está disponible los volúmenes de carga, se afectaría los modelos de operación financiera proyectados dado que estos ya no podrán ser transportados. Adicionalmente, se

---

<sup>1</sup> Fuente derivada de la intranet COMPAS S.A.S (no accesible públicamente)

verían afectados el sector industrial que utiliza materias primas para la producción de alimentos e insumos cuyos volúmenes de producción pueden verse afectados, lo que genera aumentos en los costos para negocios como el ejemplo de las harinas ya que con estas se producen pastas, cremas de sobre, panaderías, entre muchos.

Las inundaciones, por aumento en la precipitación media o por el incremento en el nivel del mar, generan afectación a la infraestructura portuaria que puede traducirse en la disminución de operatividad por condiciones y/o eventos meteorológicos así como por aumentos de temperatura entre múltiples factores. Entre ellos, podemos nombrar: el tipo de carga que maneje la instalación portuaria, las especificaciones técnicas de la infraestructura con que cuenta como la altura que tienen los muelles y las zonas de almacenamiento con respecto a la altura media del mar, el tipo de pilotaje (tablestacado, en concreto), el material de los patios de almacenamiento (construidos con adoquines, material de canteras, o relleno de dragado, o en pavimentos), la maquinaria utilizada para operar la carga (montacargas, grúas pórtico y las grúas móviles telescópicas. El riesgo es la amenaza que representan los eventos de origen climático sobre las vulnerabilidades debidas a las actividades con probabilidad de afectación; las condiciones de los factores nombrados definen en ocasiones el grado o probabilidad de afectación ante los cambios climáticos.

En Colombia, se movilizaron en el 2021 más de 168 millones de toneladas entre todas las zonas portuarias; hubo un ligero incremento con respecto al año 2020 en el cual se movilizaron alrededor de 166 millones de toneladas (Supertransporte, 2021a). Estos importantes movimientos de bienes contribuyeron a generar miles de millones de pesos en los últimos años, contribuyendo al PIB del país en un 13,04% de las importaciones y en un 22,64% de las importaciones en el año 2021 (Banco de la República de Colombia, 2022); tal y como lo refleja la Tabla 1.

**Tabla 1 PIB Colombiano y su relación con las exportaciones e importaciones**

Año	PIB		Exportaciones		Importaciones		% PIB	% PIB
	Miles de millones de pesos	Variación anual %	Miles de millones de pesos	Variación anual %	Miles de millones de pesos	Variación anual %	Exportaciones	Importaciones
2019	881.224	3,2	133.731	3,1	202.250	7,3	15,18	22,95
2020	819.114	-7	103.373	-22,7	160.786	-20,5	12,62	19,63
2021	905.639	10,6	118.074	14,2	205.051	27,5	13,04	22,64

Fuente: (Banco de la República de Colombia, 2022).

## 2.2. Descripción del problema

Teniendo en cuenta la vulnerabilidad que enfrenta el sector portuario ante el cambio climático, es importante identificar los riesgos y oportunidades individuales que enfrenta cada puerto, permitiendo conocer que tan resilientes son ante estas alteraciones. Este análisis permitiría, en el tiempo, generar un crecimiento con mayor grado de planificación, una operación segura, tanto en términos operativos, como en términos financieros, que permita incluir medidas de adaptación, dándole continuidad al negocio sin poner en riesgo las inversiones, la proyección de negocio planteado y por ende un mayor grado de sostenibilidad de este.

## 2.3. Pregunta de investigación

¿Cuál es el grado de vulnerabilidad frente al cambio climático del puerto Compas Tolú y las posibles medidas de adaptación que requiere para mantener un funcionamiento eficiente del puerto?

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Analizar el índice de vulnerabilidad al cambio climático del Puerto Compas Tolú Sucre, para establecer las medidas de adaptación necesarias para mantener un funcionamiento eficiente del puerto.

#### **3.2. Objetivos específicos**

1. Identificar los riesgos, oportunidades, grado de exposición y sensibilidad asociado al nivel de vulnerabilidad al cambio climático del puerto.

2. Revisar y compilar los referentes nacionales e internacionales de adaptación al cambio climático en los temas en los cuales el puerto presenta vulnerabilidad, incluyendo puertos internacionales y nacionales.

3. Formular acciones para contribuir a la adaptación al cambio climático y presentar el plan de implementación de estas medidas para el Puerto de Compas Tolú Sucre.

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

Algunos de los efectos del cambio climático a nivel global son: el incremento del nivel del mar, unos cambios en la temperatura media, la variación del patrón de precipitaciones, evaporación y tormentas. Un ejemplo de ello es que, en las últimas dos décadas del 2001-2020, la temperatura promedio global ha aumentado 0,99 (0,84 – 1,10) °C. Por otra parte, el nivel medio del mar aumentó en 0,20 (0,15 -0,25) m entre 1901 y 2018 (IPCC, 2021).

El aumento del nivel del mar, así como de la temperatura promedio puede impactar a las instalaciones portuarias, debido a su ubicación en zonas costeras, y afectar los servicios que ofrece como la importación, exportación y almacenamiento de carga entre otros.

Es de resaltar la importancia de los puertos en la economía nacional ya que, durante el año 2020, movilizaron 163,7 millones de toneladas de carga en Colombia (Supertransporte, 2021), y con ello toda la cadena de suministro incluyendo operadores portuarios, empresas de servicios, proveedores, generando empleos directos e indirectos.

Teniendo en cuenta el proceso de diversificación y crecimiento que llevan a cabo los puertos para adaptarse a las exigencias del mercado y la importancia en la economía nacional, es fundamental evaluar los riesgos que enfrentan por la variación climática y visualizar cómo se pueden adaptar, para mantener una operación continua y optimizada de sus instalaciones, a pesar de los retos climáticos que podrían avecinarse.

El puerto de Compas Tolú está ubicado en una posición estratégica que facilita el movimiento de mercancías hacia Antioquía. Las últimas inversiones económicas realizadas en el 2019 consistieron en la ampliación de la línea del muelle. Actualmente, se amplía su capacidad de almacenamiento en silos y se plantean nuevas zonas de almacenamiento. La meta a mediano plazo es:

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Promover la creación de condiciones apropiadas que permitan un desarrollo territorial portuario y logístico para Santiago de Tolú y la subregión del Golfo de Morrosquillo, aprovechando los terrenos de ampliación del terminal (COMPAS, 2019, pág. 22).

Adicionalmente, la definición de índice de vulnerabilidad climática del puerto Compas Tolú es una actividad que se encuentra alineada con la estrategia corporativa de adaptación y reducción al cambio climático diseñada en el 2020, en donde la empresa con su visión de mejora continua y liderazgo empresarial, tiene el objetivo de incrementar su nivel de ambición en términos ambientales, para dar respuesta a los grandes retos ambientales como son economía circular, ciudades sostenibles, capital natural y el cambio climático<sup>2</sup>.

La consecución del índice de vulnerabilidad para Tolú abre la posibilidad de repetir la misma metodología en otros puertos de Compas y de Colombia en general, haciendo uso de metodologías de prevención del riesgo climático para una planeación a largo plazo que no lo desestime.

---

<sup>2</sup> Información de Documentos internos de COMPAS 2021, suministrados por la directora HSE de la compañía, Zulady Pretel Palacios.

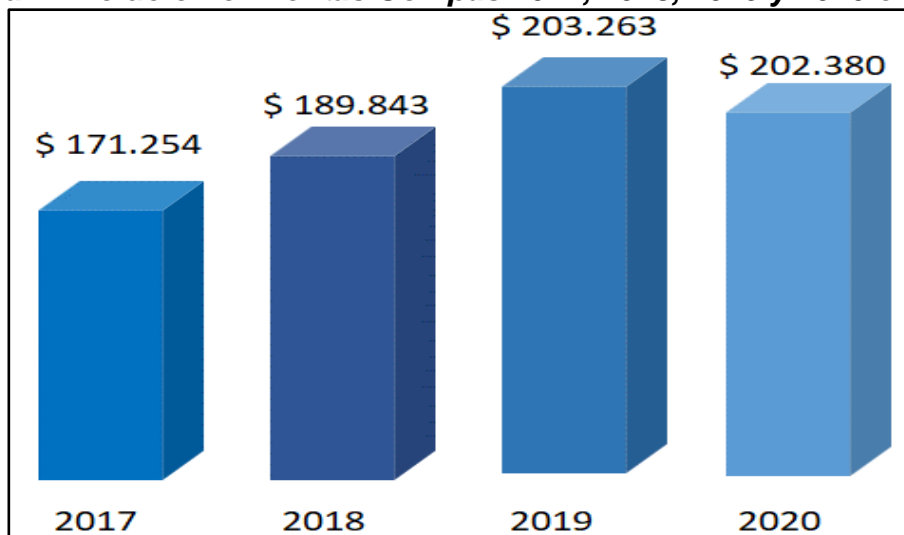
## 5. MARCO INSTITUCIONAL

### 5.1. Presentación general la empresa

Compas o Compañía de puertos asociados S.A., es la única red de puertos multipropósito en Colombia. Su composición accionaria es de 50% y 50% entre *Southern Port Holding Inc* (conformado a su vez por la Familia Echavarría Obregón y el Grupo Ership) y *West Street Infrastructure Partners III*, fondo de inversión en infraestructura controlado por la banca de negocios de *Goldman Sachs*. (COMPAS S.A.S, 2020 b)

Actualmente, se encuentra en crecimiento con ventas netas de ingresos operacionales muy representativos. En el 2020 a pesar de los efectos de la pandemia los ingresos se mantuvieron por encima de los 200.000 USD pero sí tuvieron un ligero decrecimiento frente al 2019, en 0,4%, como se puede ver en la Figura 1.

**Figura 1 Evolución en ventas Compas 2017, 2018, 2019 y 2020 en USD**



Fuente: Elaboración propia a partir de información del Informe de sostenibilidad 2020 Fuente: (COMPAS, 2020).

Compas cuenta con una amplia experiencia en el manejo portuario y con una gran infraestructura portuaria. Su infraestructura está dotada para atender diversos tipos de cargas y buques en cada uno de sus puertos, desde cargue y descargue de buques portacontenedores, buques *RORO* (*roll on roll off* diseñados para el transporte de carga rodada que pueden entrar y salir rodando), buques

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

graneleros y otros artefactos navales similares; cargas como contenedores, proyectos, carbón, gráneles alimenticios, gráneles minerales, gráneles líquidos, entre otros. (Compas, 2021 a)

Compas ofrece sus servicios como sociedad portuaria, operador portuario, bróker de fletamento (intermediario comercial utilizado para negociar fletes de barcos para importadores y exportadores) servicios logísticos, entre otros. Cuenta con 7 instalaciones portuarias, dos en Cartagena, una en Barranquilla, dos en Buenaventura, una en Houston (EEUU) y una en Tolú (COMPAS S.A.S, 2020 b). Esta ubicación estratégica le genera ciertas ventajas, ya que tiene diversas opciones para atender las necesidades de los clientes y posiciones de atraque, tanto en la costa pacífica como en la costa atlántica, así como en el río Magdalena.

El presente trabajo de investigación se plantea desarrollar en la instalación portuaria de Compas Tolú, que estratégicamente ha demostrado grandes ventajas competitivas para la compañía, no sólo por su área de expansión portuaria, sino también por su localización geográfica y su cercanía con Antioquía. Se encuentra ubicada en la zona principal del Golfo de Morrosquillo, sobre el mar atlántico colombiano, al suroeste de municipio de Santiago de Tolú en el departamento de Sucre (ver Figura 2). Se puede acceder al mismo por la troncal del Caribe en el km 4 vía Tolú – Coveñas. Con un área de expansión de más de 300.000 m<sup>2</sup>, maneja cargas de carbón, gráneles alimenticios, minerales, carga general, carga de proyectos. Actualmente, cuenta con una línea de atraque de 410 metros, adecuada para atender 2 motonaves de manera simultánea, cuenta con un calado de 12,5 metros, dotado de 18.300 m<sup>2</sup> en patios de almacenamiento y 630 m<sup>2</sup> de espacios en bodega (COMPAS, 2022 a).



## 5.2. Delimitación de la zona de estudio

La instalación portuaria de Compas Tolú se encuentra ubicada en la costa atlántica colombiana, específicamente en el golfo de Morrosquillo, departamento de Sucre, municipio de Santiago de Tolú; este municipio cuenta con una extensión de 30.122 hectáreas, el 12,13% corresponde a zona urbana y el 87,86% a zona rural y cuenta con una línea de costa de 16,5 km. Su geomorfología se compone de la fisiografía de llanura costera aluvial del golfo de Morrosquillo, la cual se extiende desde los límites con el departamento de Córdoba al sur, hasta las ciénagas y caños del bajo del canal del Dique y desde la orilla del Caribe, en dirección Este, hasta donde se elevan los Montes de María (Alcaldía de Santiago de Tolú, sf).

Santiago de Tolú limita al norte con el municipio de San Onofre, al Sur con los municipios de Palmito y Coveñas, al este con los municipios de Tolú Viejo y Sincelejo y al oeste con Panamá, teniendo en cuenta el tratado internacional de fronteras terrestres y marítimas. Posee una altitud promedio sobre el nivel del mar de 3 metros, una temperatura media de 18 a 30°C y una distancia a la capital del departamento Sincelejo de 50 km aproximadamente. Debido a la ubicación geográfica del puerto Compas Tolú sobre el golfo de Morrosquillo, es importante entender la hidrografía que lo compone. La cuenca de este golfo mide aproximadamente 2.100 km<sup>2</sup>. Se reconocen como subcuencas principales las cuencas de los ríos Pichilín, Caimanera, Remanguenaguas, Trementino y la Leche, con regímenes hídricos similares. Por su parte, el río Sinú desemboca sobre la bahía de Cispatá mediante los caños Sicará y Grande, convirtiéndose en el mayor aporte fluvial y de sedimentos para el golfo Morrosquillo (Alcaldía de Santiago de Tolú, sf). En la

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Figura 2 se puede identificar la ubicación del departamento de Sucre.



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

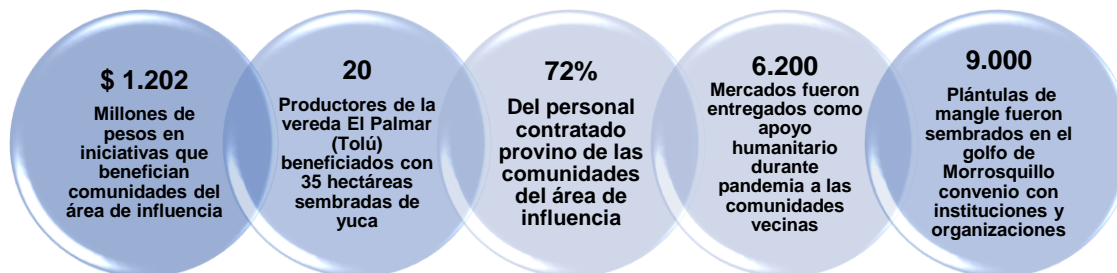
**Figura 3. Misión y visión**

<p><b>Misión:</b> Generar valor al comercio exterior con soluciones logísticas integrales, eficientes, innovadoras y sostenibles a través de nuestra red de puertos multipropósito.</p>	<p><b>Visión:</b> Consolidar a Compas para el año 2025, como la primera red portuaria y logística colombiana con presencia en América; duplicando el volumen de carga manejado en el 2020 y asegurando altos estándares de servicio, sostenibilidad y eficiencia.</p>
---	---

Fuente: Elaboración propia a partir de información registrada en página Web (COMPAS, 2022 a).

La empresa está comprometida con su gestión social, estructurando y financiando proyectos sociales en beneficio de las comunidades aledañas. Algunos de los resultados más significativos en este aspecto para el 2020 se resumen en la Figura 4.

**Figura 4 Resultados de gestión social 2020**



Fuente: Elaboración propia a partir información de (COMPAS, 2020).

Está adscrita al "Pacto Global Naciones Unidas". Con esta iniciativa, demuestra el compromiso de alinear la estrategia corporativa empresarial con diez principios en cuatro áreas temáticas: derechos humanos, estándares laborales, medio ambiente y lucha contra la corrupción, así como su contribución a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Desde 2016, publica informes de sostenibilidad aplicando los estándares GRI - Global Reporting Initiative (COMPAS S.A.S, 2020 b).

La empresa cuenta con la certificación ISO 14001/2015, ratificada anualmente por Icontec, una vez realizado el proceso de auditoría externa. Posee un sólido sistema de gestión ambiental dotado de procedimientos, controles operacionales,

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

matrices de gestión de riesgo ambiental y otros elementos complementados con el sistema documental vía web denominado Kawak. Este sistema resguarda los documentos soporte de cada área, fundamentado en el ciclo PHVA, mediante un sistema de mejora continua donde se inscriben los planes de acción, la asignación de tareas y las fechas de su cumplimiento (COMPAS S.A.S, 2020 b).

*En el 2020 Compas diseñó una estrategia de mitigación al cambio climático, ha alineado su estrategia ambiental a los ODS, ha mejorado sus procesos de economía circular, desarrollando procesos de recirculación de aguas, ha desarrollado un proyecto de eficiencia energética. Algunos valores de referencia son (COMPAS, 2020):*

- 15.403 m<sup>3</sup> de aguas lluvias colectadas, almacenadas y utilizadas en procesos de humectación de carbón, lavado de áreas comunes de las instalaciones portuarias de Compas Aguadulce (100%) y Compas Cascajal (50%), entre otros.*
- 665,6 ton de residuos fueron reciclados; equivalentes al 25,72% de los residuos generados en el año*
- 1.257,7 ton de residuos orgánicos fueron donados para compostaje; equivalentes al 48,61% de los residuos generados en el año.*

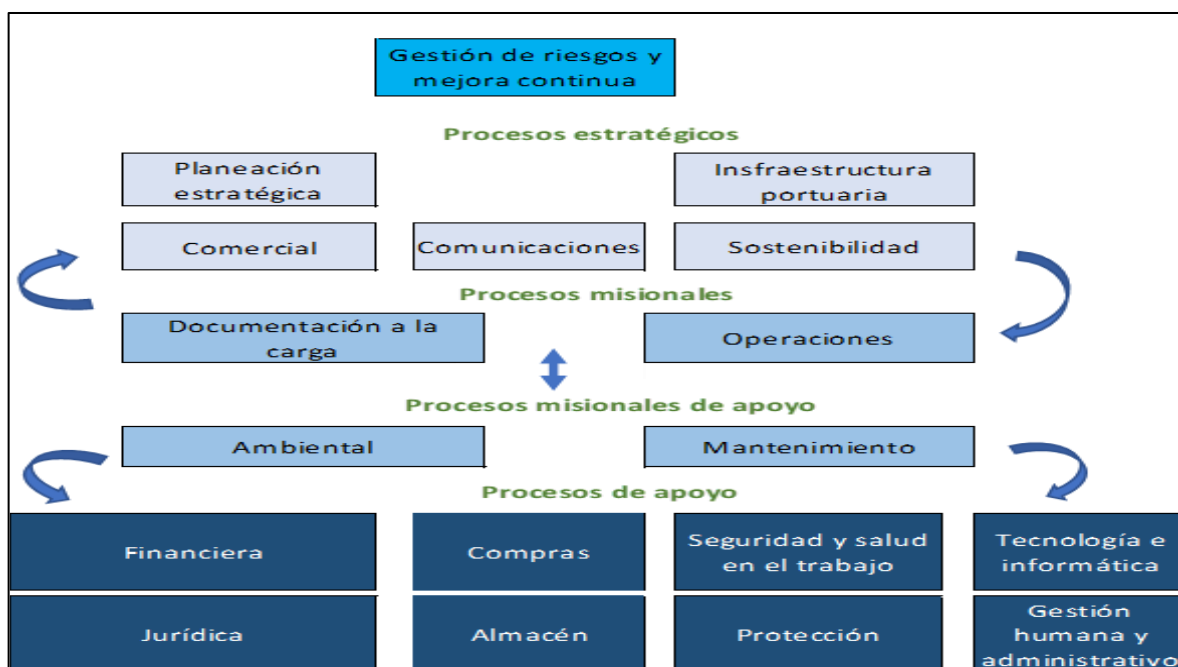
La empresa ha trabajado para mantener a los empleados sensibles a temas como: el uso eficiente del agua, la energía, el consumo responsable, la clasificación de residuos, la economía circular y la protección de animales y plantas. La empresa obtuvo reconocimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a las Buenas Prácticas de Desarrollo Sostenible por Pacto Global Red Colombiana. Adicionalmente, ha obtenido también las certificaciones OSHAS 18001, ISO 9001, BASC, PBIP, está afiliada a la Comisión Colombiana de Seguridad, ganó en 2015 y 2019 el premio *American Maritime Award* por sus prácticas de sustentabilidad y en el 2018 ganó el *Premio de Ingeniería* por la construcción del puerto de Compas Aguadulce (COMPAS S.A.S, 2020 b)

#### 5.4. Estructura organizacional

Compas posee varias instalaciones portuarias (puertos) y para su funcionamiento, ha diseñado una estructura corporativa para la prestación de servicios. La empresa ha realizado una agrupación en cuatro grandes procesos, representados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

A continuación, se proveen detalles de cada proceso, con base en la información publicada en la intranet de Compas.

**Figura 5 Mapa de Proceso de Compas**



Fuente: Documento interno, Mapa de procesos (ruta de acceso en la intranet de Compas: [http://olivo/kawak/mapa\\_procesos/mapa.php](http://olivo/kawak/mapa_procesos/mapa.php))

- **Procesos estratégicos:** se lleva a cabo la planeación estratégica, se definen objetivos y metas asociados a esta estrategia, en los cuales los gerentes de cada instalación portuaria juegan un papel fundamental.
- **Procesos misionales:** En estos procesos, se integran las actividades fundamentales de la razón de ser del negocio, es decir la operación de la carga y su documentación.
- **Procesos misionales de apoyo:** estos procesos apoyan al buen funcionamiento de los procesos misionales, ya sea por el buen funcionamiento

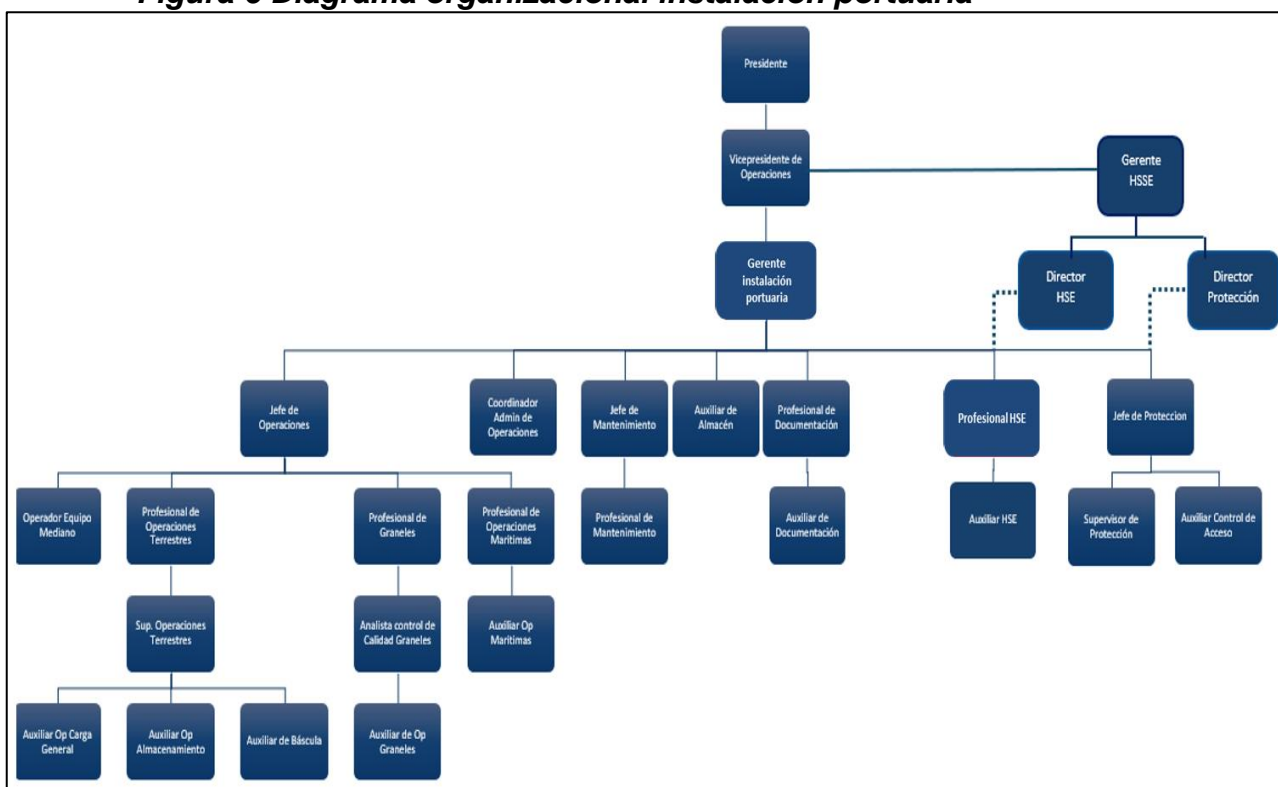
Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

de maquinaria y equipos necesarios para la operación como por la gestión ambiental y el cumplimiento de instrumentos legales ambientales como licencias, permisos, planes de manejo ambiental. Con esto, se está evitando unos incumplimientos normativos y de reporte que podrían derivar en potenciales sanciones de las autoridades ambientales, poniendo en riesgo el funcionamiento, reputación y relacionamiento con las partes interesadas.

- Procesos de apoyo: estos procesos coadyuvan al funcionamiento de toda la estructura y aunque no hacen parte del proceso misional, son esenciales para poder llevar a cabo las actividades de prestación de servicios portuarios en las terminales.

Teniendo en cuenta que la instalación portuaria de Compas Tolú es una sola sede, esta tiene su propio organigrama, el cual se puede observar en la Figura 6.

**Figura 6 Diagrama organizacional instalación portuaria**



Fuente: Tomado de documento interno: Perfil y manual de funciones de cargo. Documento interno sin publicar<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Fuente derivada de la intranet de COMPAS S.A.S (no accesible públicamente)

### 5.5. Productos o servicios ofertados

Compas ofrece a sus clientes unas alternativas que permiten dar respuesta a los retos logísticos actuales, con varias instalaciones ubicadas estratégicamente. Los clientes pueden disponer así de un lugar que les garantice una mejor solución a sus necesidades (COMPAS, 2022 a). En la Figura 7 se relaciona los servicios ofrecidos en las terminales:

**Figura 7 Productos o servicios ofertados por la empresa COMPAS**

<p><b>Carga de alimentos a granel:</b> Gráneles sólidos, carbón / coque, carga de proyectos y carga general: servicios relacionados con el muellaje, almacenamiento de carga, pesaje y monitoreo las 24 horas.</p>	<p><b>Operador portuario terrestre:</b> Consolidación y desconsolidación de carga, pesaje de mercancías, inspecciones aduaneras y antinarcóticos</p>	<p><b>Operador portuario marítimo:</b> Estiba y desestiba de gráneles sólidos, movilizaciones vía muelle, tape y destape de bodegas, trinque y destrinque de mercancías a bordo.</p>	<p><b>Fletamento:</b> Mediante Comship Brokers, se realiza el servicio de fletamento marítimo</p>
--	--	--	---

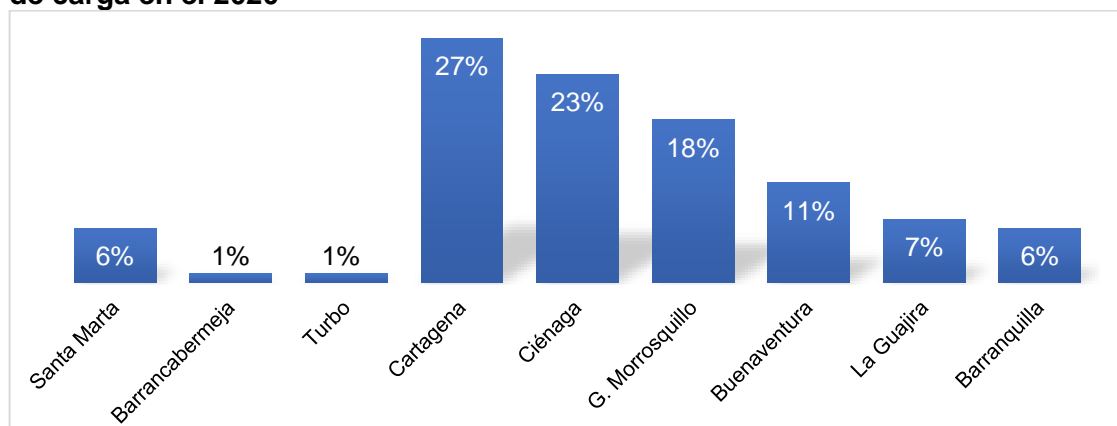
Fuente: Elaboración propia a partir de información de (COMPAS, 2022 b).

### 5.6. Análisis del sector

El 75% del comercio mundial se moviliza marítimamente, Colombia no es ajeno a esta tendencia ya que, durante el año 2020, por sus puertos ya sean de carácter público o privado ubicados en nueve zonas<sup>4</sup>, se movilizó el 93% del comercio exterior (Supertransporte, 2021, pág. 10). En la Figura 8, se relaciona la participación relativa de las diferentes zonas portuarias durante el año 2020.

<sup>4</sup> Guajira, Santa Marta, Ciénaga, Barranquilla, Cartagena, Golfo de Morrosquillo, Urabá, San Andrés, Buenaventura y Tumaco



**Figura 8 Participación relativa de las diferentes zonas portuarias en el movimiento de carga en el 2020**

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Superpuertos, (Supertransporte, 2021).

La instalación portuaria de Compas Tolú, ubicada estratégicamente en el Golfo de Morrosquillo, ha demostrado grandes ventajas competitivas para la Compañía, no sólo por su área de expansión portuaria sino también por su localización geográfica que le permite estar a una menor distancia de los principales centros de producción del país, entre ellos, Cundinamarca, Antioquia, Santander y por supuesto, Córdoba y Sucre. (COMPAS, 2021 b).

COMPAS en el año 2020, presentó un plan de proyección de crecimiento para el puerto de Tolú y del Golfo de Morrosquillo, como nuevo centro de desarrollo logístico, industrial y turístico de la Costa Caribe. En este, se establece el detalle de la obra de ampliación de su terminal Compas Tolú, y se resaltan los impactos sociales y económicos que ha generado, en el municipio, en los últimos seis años, así como la proyección de crecimiento de la instalación portuaria que serán potenciadas con el desarrollo de obras alternas tales como la construcción de una vía terrestre 4G y la ampliación del aeropuerto (COMPAS, 2021c).

Estas inversiones prevén un impacto favorable en la generación de puestos de trabajo, el crecimiento de la demanda de servicios de turismo, una mayor inversión en programas sociales de la empresa privada y el fortalecimiento de la formación para el trabajo con el SENA (COMPAS, 2021c). Con estas acciones, se

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

denota un crecimiento en el sector y específicamente en el puerto de interés de este estudio de investigación.

## **6. Marco de Referencia**

A continuación, se describe información general sobre los siguientes temas fundamentales para el entendimiento de este estudio:

- 6.1. Cambio y variabilidad climática su incidencia en América latina y el caribe
- 6.2. Efectos del cambio y variabilidad climática en Colombia
- 6.3. Bases conceptuales para la vulnerabilidad y riesgo
- 6.4. Características de las condiciones climáticas actuales
- 6.5. Evaluar el riesgo climático
  - 6.5.1. Amenazas del cambio climático
  - 6.5.2. Vulnerabilidad al cambio climático
- 6.6. Definiciones riesgo, amenaza, vulnerabilidad, GEI, huella carbono y sistemas renovables.
  - 6.6.1. Reducción de riesgo
  - 6.6.2. Reducción de la amenaza
  - 6.6.3. Reducción de la vulnerabilidad a factores amenazantes
  - 6.6.4. Identificación de fuentes de emisiones actuales y futuras de GEI
  - 6.6.5. Compensación de huella de carbono
  - 6.6.6. Sistemas de energía renovables
- 6.7. Medidas de adaptación frente al cambio climático
  - 6.7.1. Acciones de adaptación al cambio climático
  - 6.7.2. Adaptación a través de obras de infraestructura
  - 6.7.3. El manglar como mecanismo adaptativo
  - 6.7.4. Medidas de adaptación en el Puerto de Rotterdam
  - 6.7.5. Medidas de adaptación en el Suroeste de Europa
  - 6.7.6. Medidas de adaptación propuestas por la Junta de Comercio y Desarrollo
- 6.8. Información para el análisis de los datos Series de Tiempo
  - 6.8.1. Descomposición Estructural

### **6.1. Cambio y variabilidad climática su incidencia en América latina y el caribe**

*“Para la región de América Latina y el Caribe – ALC, en las próximas décadas se espera cambios climáticos de gran incidencia, en relación con frecuencia e intensidad de los fenómenos, los cuales pueden afectar las regiones en términos de características y extensión. Se considera que las*

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

*inundaciones serán la principal afectación por la elevación del nivel del mar, así mismo se prevé afectación por erosión costera, intrusión marina y mayor susceptibilidad a mareas de tormenta". (CAF, 2014, pág. 15).*

El clima se puede definir como las condiciones atmosféricas que predominan en los lugares o regiones por periodos de tiempo (días, semanas, meses, años o siglos). Por lo general, estas condiciones predominantes se estiman por promedio, por ejemplo: promedio de temperatura, lluvia, entre otros. Las estaciones son una expresión de clima, en algunos lugares se manifiesta por la variación de la temperatura media en el año (verano -calor-, invierno -frio, etc.), en Colombia, las estaciones se caracterizan por las precipitaciones (lluviosa- seca). (IDEAM - UNAL, 2018, pág. 10).

La variabilidad climática se expresa por los cambios por encima o por debajo de las condiciones normales o promedios en las variables climatológicas (temperatura del aire, precipitación, etc.), estimadas en un lugar. Su valoración se logra mediante la determinación de anomalías. Puede afectar a los ecosistemas, actividades sociales, entre otros. Estas variaciones se originan mayormente por oscilaciones de la radiación solar incidente, comportamientos en el océano y atmosfera, entre otros (IDEAM - UNAL, 2018, pág. 14)

El cambio climático puede definirse como la modificación predominante, en el largo plazo (siglos, milenios, entre otros), de las variables climáticas. Puede afectar de manera más trascendental a las comunidades, los países, los ecosistemas, los medios de producción, entre otros. Las diferentes actividades humanas han intensificado el efecto en el sistema climático, a raíz de las emisiones, ocasionando cambios en la composición de la atmosfera (IDEAM - UNAL, 2018).

De acuerdo con el (Banco Mundial, 2011, pág. 17), en los próximos años, se prevé que se originen cambios en los valores medios y extremos asociados a la variabilidad del clima. Esto implicaría riesgos en la producción de alimentos,

sostenibilidad de los ecosistemas y de las actividades industriales. Así mismo, el aspecto económico se puede ver afectado, dado que sería necesario establecer primas de seguros que buscarían el cubrimiento de riesgos a los que pueden estar expuestas las operaciones.

## **6.2.Efectos del cambio y variabilidad climática en Colombia**

Las características fisiográficas presentes en Colombia pueden hacerla más vulnerable a los impactos del cambio climático, primordialmente en costas con afectaciones en zonas marino-costeras, tales como los ecosistemas de arrecifes coralinos, manglares, playas, entre otros. Al mismo tiempo, éstas pueden llegar a ser afectados por el desarrollo local carente de planificación, dando como resultado significativos procesos erosivos de aproximadamente el 25% del litoral colombiano entre las zonas del Caribe y el Pacífico". (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016)

Los científicos han realizado un gran número de proyecciones acerca del clima, y a pesar de que las predicciones de estos los modelos no son exactas, todos coinciden en que la temperatura del planeta está aumentando (DNP, 2012, pág. 31). Para el caso de Colombia, se estima que la temperatura media ha aumentado de 0,17°C por década entre 1980 y 2010 que al tiempo las precipitaciones en zonas de páramos han disminuido, y entre el 2009 al 2015 los eventos hidrometeorológicos aumentaron 2,6 veces) (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016).

Durante el fenómeno de la Niña ocurrido el 2010 y el 2011, en Colombia se presentaron consecuencias graves por los efectos climáticos, entre los que se identifican: daños a la infraestructura de transporte (carreteras, ferrocarriles, puertos y aeropuertos); con pérdidas de alrededor \$3,4 billones por daños en infraestructura y de \$417.000 millones por retrasos en la prestación de servicios de transporte de carga y pasajeros. Unos análisis realizados por el IDEAM indican un posible aumento en el nivel del mar, en por lo menos un metro, lo que podría afectar de 1,4 a 1,7 millones de habitantes, de los cuales el 80% de ellos se

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

encuentran ubicados en el Caribe y el 20% en la zona del pacífico colombiano (DNP, 2012, pág. 36)

El aumento en los niveles medio y extremo del mar como consecuencias del cambio climático, puede afectar la operatividad de los puertos y otras infraestructuras de transporte costeras de muchas regiones ya que quedarán sumergidos de manera permanente o sufrirán inundaciones recurrentes (Naciones Unidas, 2020). Para Colombia, sus puertos marítimos se encuentran expuestos a diferentes amenazas asociadas a la variabilidad y cambio climáticos. Unos análisis del Inveemar- MADS 2013, señalan que los vendavales, inundaciones, erosión y mar de leva son las amenazas más frecuentes que se pueden presentar en los departamentos costeros (Minambiente; Inveemar; Mintransporte, 2016, pág. 14).

*“Se estiman ascenso en el nivel del mar en el Caribe de aproximadamente 3,5 mm/año –posiblemente por cambio climático global, entre otros factores–, estimaciones de 2,3 mm/año con tendencia ascendente en la serie de datos tomados en el puerto de Cristóbal. La Costa Pacífica muestra valores similares de ascenso –aunque mayores en Buenaventura. Tendencia calculada con las series de datos en puntos costeros de Panamá y Ecuador muestran incrementos entre 0,9 mm y 1,4 mm por año, mientras en Buenaventura el aumento es de 2,2 mm por año”–(IDEAM, 2010 citado por (DNP, 2012, pág. 35).*

El aumento de un metro en el nivel del mar generaría inundaciones permanentes de 4.900 km<sup>2</sup> de costas bajas y el anegamiento de 5.100 km<sup>2</sup>. La población que podría verse afectadas es de 1,4 a 1,7 millones de habitantes – 80% en el Caribe y 20% Pacífico– (IDEAM, 2010 citado por (DNP, 2012, pág. 36).

La importancia de la Gestión del Cambio Climático, tiene por objeto coordinar las acciones del Estado, los sectores productivos y la sociedad civil en el territorio mediante acciones de mitigación, que busquen reducir su contribución al cambio

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

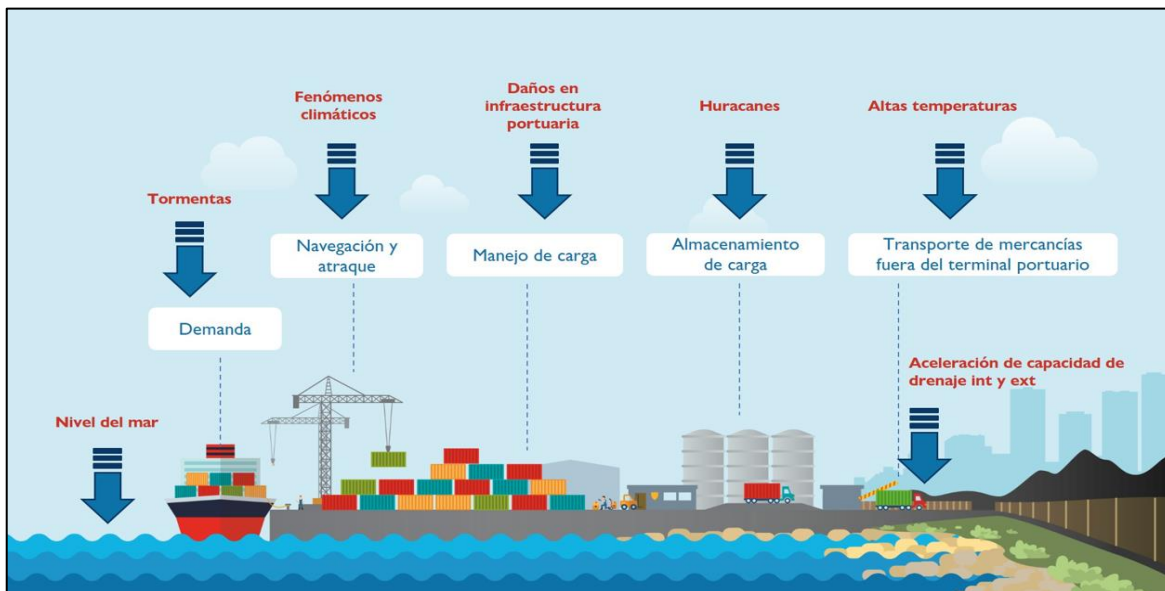
climático vía disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y de adaptación a los efectos, que le permitan enfrentar los retos actuales y futuros asociados a la mayor variabilidad climática, reducir la vulnerabilidad de la población y la economía ante ésta, promover un mayor conocimiento sobre los impactos del cambio climático e incorporarlo en la planificación del desarrollo (DNP, 2012, pág. 43).

En Colombia la (Ley-1931, 2018), fue creada con el fin de establecer directrices para gestionar el cambio climático, para el sector público y privado, incluyendo acciones para la adaptación al cambio climático, así como en mitigación de gases efecto invernadero; bajo los principios de: autogestión, coordinación, corresponsabilidad, costo-beneficio, costo-efectividad, gradualidad, integración, prevención, responsabilidad, subsidiariedad.

Los grupos humanos, los sectores productivos y los actores institucionales que habitan y/o desarrollan actividades en los territorios siempre generan procesos de adaptación. No obstante, según el momento en el que se genere la intervención, se pueden clasificar como de adaptación reactiva y/o adaptación preventiva. La necesidad de esta adaptación surge como respuesta a los impactos o efectos iniciales que estos fenómenos tienen sobre los sistemas, ya que estas amenazas, así como la degradación de los ecosistemas, tienden a acentuarse frente a las proyecciones sobre el clima futuro, incrementando la condición de riesgo para las zonas costeras, incluyendo el sector portuario (DNP, 2012, pág. 45).

En la Figura 9, se puede observar el esquema conceptual de la probabilidad de afectación en el puerto de Compas Tolú.

**Figura 9 Esquema conceptual de la probabilidad de afectación en el puerto de Compas Tolú**



Fuente: Elaboración propia de los autores.

### 6.3. Bases conceptuales para la vulnerabilidad y riesgo

La relación entre riesgo, amenaza, exposición al mismo y vulnerabilidad se da en tanto exista una probabilidad de la materialización de esa amenaza, mientras que la vulnerabilidad se define como la disposición a ser afectado por dicha amenaza o riesgo. *“Por lo tanto, se define como riesgo climático a la probabilidad de pérdidas socioeconómicas y ecosistémicas por acción de eventos climáticos que afectan un sitio en particular; con el objeto de definir medidas de adaptación que garanticen la sostenibilidad tanto de las poblaciones como de las compañías”* (Minambiente, 2021)

Las amenazas climáticas son eventos que no están al alcance modificar, pero que, si deben ser identificados, con anterioridad, ya que al conocer la magnitud en que estos pueden afectar, se logra una concientización, participación y sensibilización de los diferentes actores, que puede beneficiar la asignación de recursos para el desarrollo de medidas de adaptación (DNP, 2012). La importancia de identificar la vulnerabilidad climática de los puertos es que permite priorizar elementos objeto de reducción del riesgo climático, dado que es un

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

elemento en el cual se puede intervenir, mediante el diseño e implementación de medidas de adaptación.

El clima es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del estado del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región, y controlado por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del denominado sistema climático (atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antroposfera (IDEAM, 2021, pág. 35).

#### **6.4. Características de las condiciones climáticas actuales**

La precipitación en Sucre tiene un aumento en dirección norte-sur; con variaciones entre 1000 y 1500 mm menores lluvias del norte hacia la zona central y hasta de 3000 mm hacia al sur de Corozal y superior a 3000 mm más hacia el sur. El régimen es monomodal lo que significa un régimen de precipitación muy marcado en una época del año; temporada seca entre diciembre y marzo y a partir de abril aumentan las lluvias hasta llegar a su pico superior entre los meses de julio a septiembre. En cuanto a la temperatura esta oscila entre 26 y 28°C; con un clima predominante de cálido semiárido entre norte y sur; y de tipo cálido semihúmedo y húmedo hacia el sur del departamento. Fuente: (Atlas Climatológico Ideam, 1981-2010).

El IDEAM, mediante la red de estaciones hidrometeorológicas y observación meteorológica e hidrológica suministra información a la comunidad en general acerca del recurso clima y las condiciones del mismo en el territorio nacional. El sistema de observación, medición y vigilancia hidrometeorológica nacional cuenta con 4.373 estaciones de diferentes categorías, distribuidos en las principales zonas del país (Global Ecoriesgo Soluciones-Finagro, 2016, pág. 15).

En la Tabla 2 se pueden observar información de la georreferenciación y el tipo de medición de las estaciones más cercanas ubicadas a la zona de estudio y en las



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

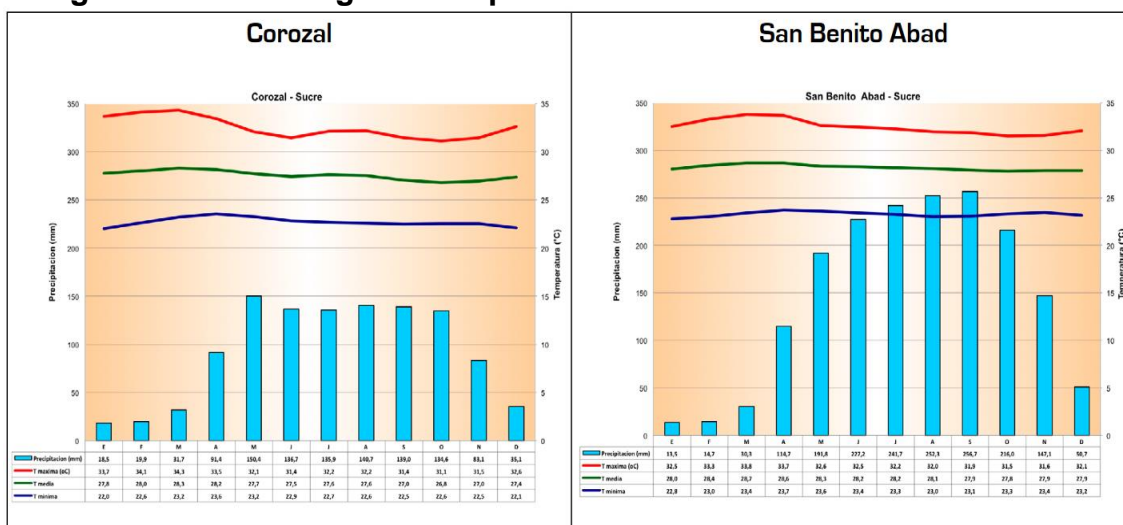
Figura 10 y Figura 11 se registran datos de las precipitaciones y los rangos de temperatura.

**Tabla 2 Estaciones hidrometeorológicas del IDEAM utilizadas como fuente de información de las zonas portuarias marítimas del área de estudio.**

Código	Nombre de la estación	Municipio	Departamento	Longitud	Latitud	Prec.	Temp.
25025080	Apto. Rafael Barvo, Corozal	Corozal	Sucre	75°16'59.0" W	9°20'2.0" N	x	x
13090070	Tolú	Santiago de Tolú	Sucre	75°35'9.0" W	9°31'9.0" N	x	x

Fuente: (INVEMAR - MINAMBIENTE, 2018).

**Figura 10 Clima diagramas representativos de Sucre**

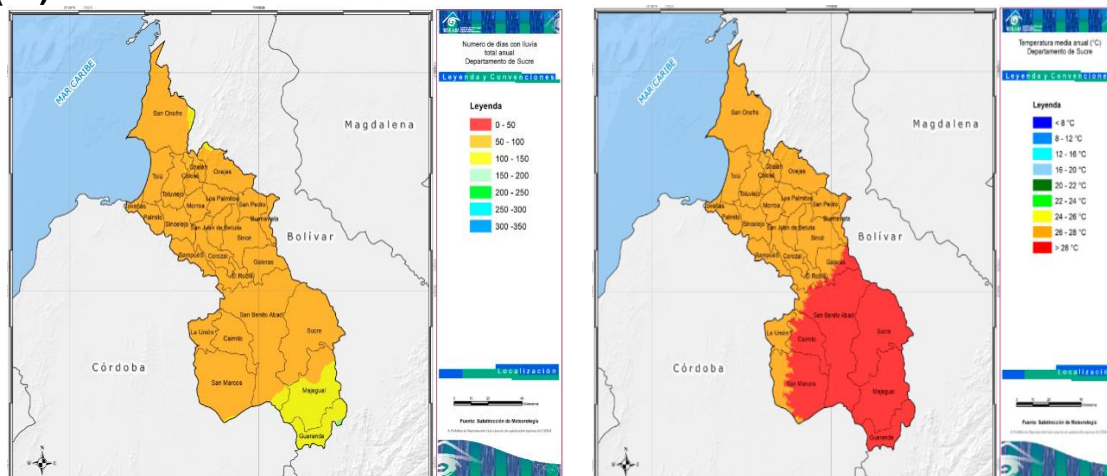


Fuente: (IDEAM, 2017).

En la Figura 10 se puede observar los climadiagramas de Corozal y San Benito Abad. En estos, podemos ver la precipitación y la temperatura promedio anual de ambos municipios, evidenciándose mayores precipitaciones en San Benito de Abad; es decir demuestra un aumento de precipitación hacia la zona sur, con una marcada diferencia en la época del año seca (enero, febrero, marzo y diciembre) y lluviosa (abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre).

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

**Figura 11 Número de días con lluvia anual (mm) y Temperatura media anual (°C) de Sucre**



Fuente: (IDEAM, 2014)

En la Figura 11 se observa el número de días con lluvia es mayor en el extremo sur del departamento de Sucre; mientras que la temperatura media anual aumenta en la zona sur del departamento, con una temperatura mayor a 28°C.

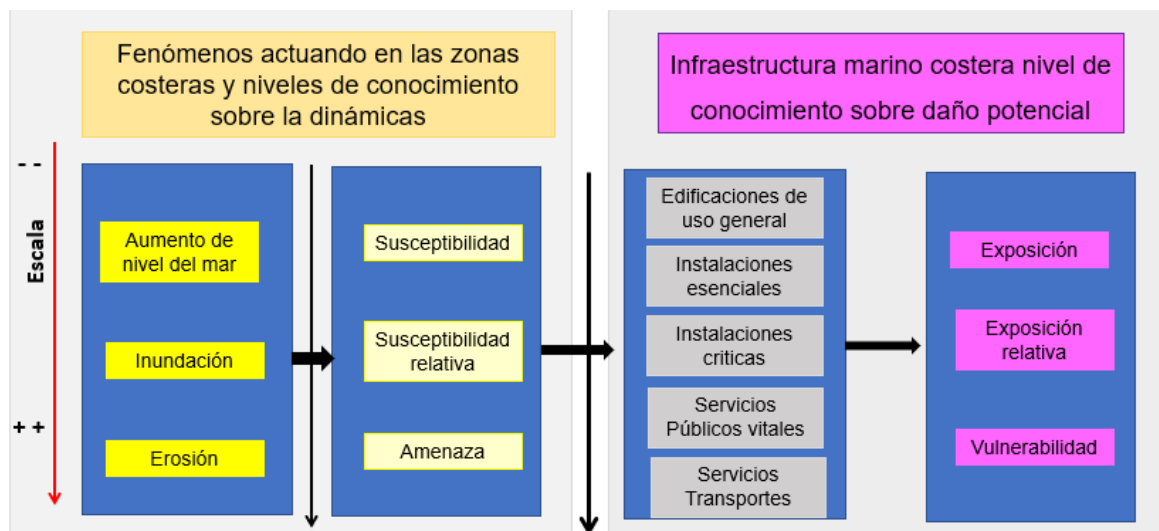
### 6.5. Evaluar el riesgo climático

*“El cambio climático plantea riesgos para los sistemas humanos y naturales, con potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de sucesos o tendencias peligrosos multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales sucesos o tendencias. Los riesgos resultan de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y el peligro” (IPCC, 2014).*

Al evaluar los riesgos frente al cambio climático a los que puede estar expuesta la operación portuaria de la empresa Compas – Tolú, se busca generar información que permita la toma de decisiones en el corto y mediano plazo, buscando definir medidas para reducir o gestionar los posibles riesgos que puedan afectar los aspectos financieros, económico, ambiental y social, y por ende la sostenibilidad de la actividad portuaria de la empresa.

Para evaluar los posibles riesgos frente al cambio climático del puerto de Compas Tolú, se propone identificar las diferentes amenazas asociadas al cambio climático, que puedan comprometer la integridad de la infraestructura existente o las que estén en proceso de planificación y desarrollo (EUROCLIMA, 2014). Por ello es importante, realizar una comprensión integral de las amenazas o condiciones de exposición a determinados eventos o efectos asociados al cambio climático. El riesgo de desastres en general y el riesgo climático en particular, lo disparan los cambios físicos, bien sean de origen natural o causados por el hombre, que transforman eventos de origen hidrometeorológico en amenazas de diferente magnitud (DNP, 2012).

**Figura 12 Esquema metodológico propuesto por EUROCLIMA, 2014, para evaluar infraestructura física marino costera frente a los cambios climáticos.**



Fuente: (EUROCLIMA, 2014, pág. 28)

La metodología propuesta por (EUROCLIMA, 2014), establece que para evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura costera se debe:

- *“Identificar los eventos que potencialmente representan amenazas y afectación costera. Realizar caracterización en tipo, magnitud y recurrencia.*
- *Evaluar niveles de susceptibilidad física de las costas frente a impactos de las amenazas potenciales*

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

- *Identificar elementos expuestos (físicos, socioeconómicos, ambientales, entre otros)*
- *Establecer el valor de elementos expuestos para determinar el impacto probable (nivel de daño) al materializarse la posible amenaza”*

De acuerdo con (Minambiente; Invermar; Mintransporte, 2016, pág. 14), Los puertos marítimos de Colombia se encuentran expuestos a diferentes amenazas asociadas a la variabilidad y cambio climático. Para el caso del departamento de Sucre, se presentan reportes de amenazas por vendavales, inundaciones, erosión y mar de leva.

Un ejemplo de vulnerabilidad al cambio climático a nivel internacional, lo presenta los Países Bajos los cuales se caracterizan por presentar situación de amenaza constante frente a inundaciones, dado que el 17% del territorio del país se ha ganado al mar, lo cual los obliga a desarrollar e implementar técnicas cada vez más complejas para evaluar riesgos y lidiar con el agua (EOM, 2020).

### **6.5.1. Amenazas del cambio climático**

*De acuerdo con las (Naciones Unidas, 1992), “el cambio climático es el cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”.*

Existe consenso científico, de que el cambio climático es aquel que favorece a una mayor variabilidad climática ocasionando cambios inusuales en los rangos monitoreados de las variables climáticas (temperatura, precipitaciones, presión atmosférica). A tal punto, que se identifiquen variaciones en relación a la frecuencia, duración e intensidad de los eventos climáticos extremos tales como huracanes, sequías debido al fenómeno “El Niño” y lluvias durante el fenómeno de “La Niña” (DNP, 2012).

*“La subida del nivel medio del mar, el aumento de la frecuencia y la intensidad de fenómenos extremos como las marejadas ciclónicas y el oleaje, las precipitaciones, las sequías, las inundaciones fluviales, así como el aumento de las temperaturas medias y la variabilidad extrema de las temperaturas son algunos de los cambios en el clima que amenazan gravemente a los puertos y a otras infraestructuras y actividades de transporte costeras”.* (UNCTAD-Naciones Unidas, 2020, pág. 4).

Becket y colaboradores (2012) citado por (Figuroa Fabrega, Toro Delgado, & Gandara Puggioni, 2018), sugieren que el cambio climático afectará a los puertos y economías nacionales basadas en desarrollo portuario, al generarse incrementos en costos de inversión, mantenimiento y mejoramiento de infraestructura costera, incremento de pérdidas económicas dada por disminución de actividades portuarias o cierre, también las generadas por aumento de externalidades ambientales y por el incremento de eventos atmosféricos, como marejadas, temporales e incluso ciclones. Por ello, es importante que la industria portuaria identifique las amenazas y su vulnerabilidad con el fin de definir medidas de adaptación a las futuras condiciones del clima minimizando de esta forma los riesgos que afecten su sustentabilidad.

Dentro de los eventos climáticos que afectan las diferentes dimensiones del desarrollo sostenible (ecosistemas, población y sectores productivos), se han identificado unos extremos climáticos relacionados con precipitaciones, cambios en temperaturas máximas y mínimas, sequías, inundaciones y cambios en la intensidad de los vientos, entre otros. Estos fenómenos cambian las condiciones naturales de los sistemas, poniendo en riesgo su productividad y la calidad de vida de las poblaciones involucradas (DNP, 2012, pág. 35).

Para analizar la amenaza que presenta la infraestructura portuaria de Compas Tolú. Se propone realizar un diagnóstico que permite identificar los posibles riesgos asociados al cambio climático, teniendo en cuenta en el análisis la relevancia de estos en la zona de estudio, posibilidad de materializarse y por

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

ende generar una afectación directa o indirecta a los servicios portuarios prestados por la instalación portuaria de Compas Tolú.

En la Tabla 3 se pueden observar algunos de los eventos más probables asociados al cambio climático en Tolú y los impactos asociados al mismo.

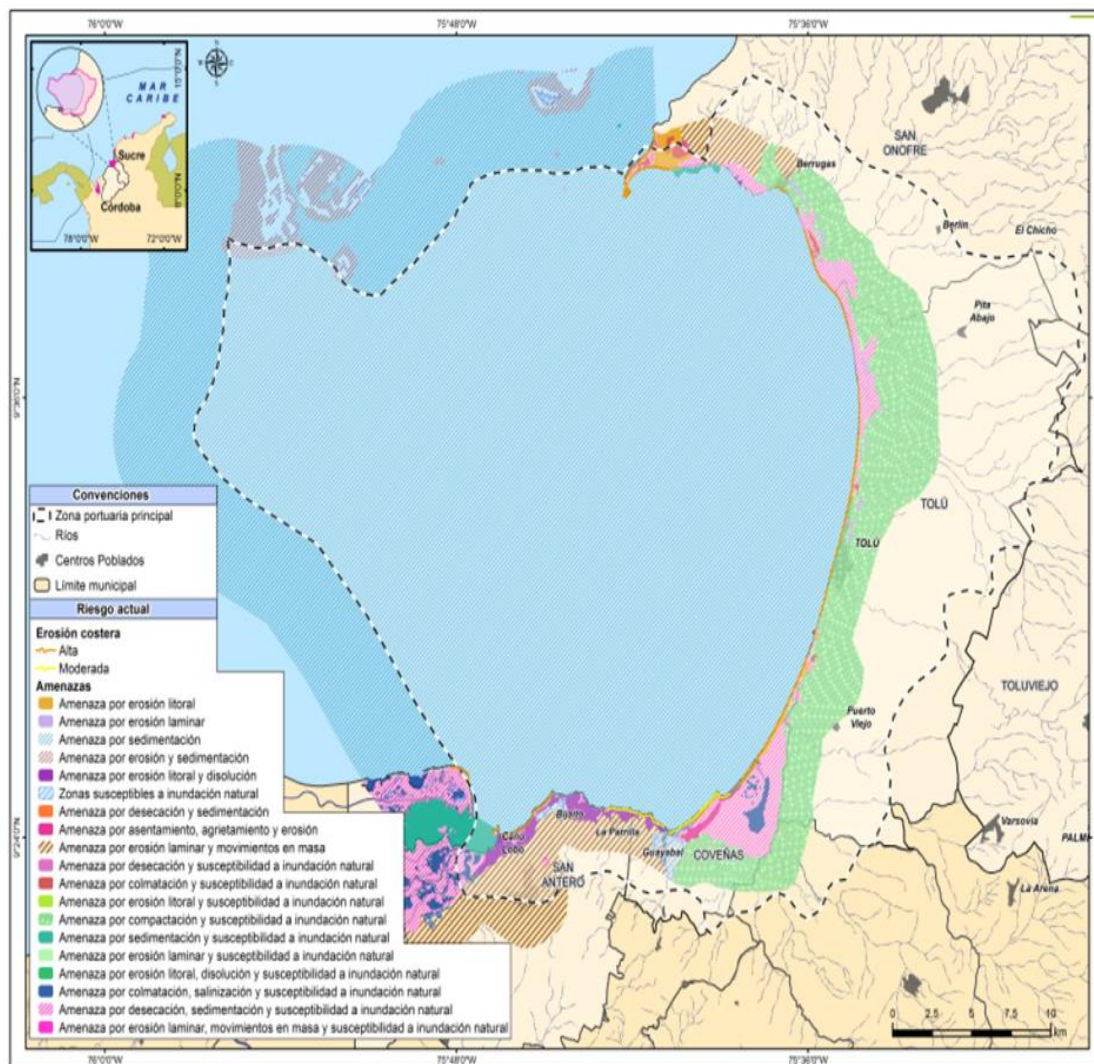
**Tabla 3 Efectos probables del cambio climático**

Efectos del cambio climático		Impactos
Ascenso del nivel del mar	Pueden esperarse incrementos en el nivel del mar de 2-5 mm/año, alcanzando 0,8- 1 m para el 2100	Erosión en la línea de costa
		Inundaciones de zonas bajas
		Sedimentación
		Retroceso del mandar y playas
Aumento eventos extremos	Varía dependiendo del evento, algunos presentan durante la época de lluvias (vendavales) otros como los huracanes en menor proporción.	Fenómeno de la niña (aumento de lluvias)
		Fenómeno del niño (sequías)
		Huracanes
		Vendavales
Otros eventos	La amenaza de tsunami está relacionada con la actividad volcánica, aunque la probabilidad de ocurrencia es baja con magnitud 6,5 escala de Richter.	Mar de leva
		Tsunami
		Maremotos
Precipitación	Presenta un marcado gradiente de aumento de lluvias en dirección norte-sur. Con volumen de rango de 1000 a 1500mm anuales. Régimen de lluvias anual es monomodal. Temporada seca se extiende diciembre a marzo. Las lluvias aumentan en abril alcanzando máximos periodo de julio a setiembre, disminuyendo hasta el mes de diciembre en el que comienza la temporada seca A.	Marejadas
		Precipitaciones intensas Disminución de las lluvias
Descripción climática	El tipo de clima predominante en el sur del departamento es tipo semihúmedo y húmedo. La temperatura está en el rango de 26 a 28 °C.	Aumento de sensación térmica

Fuente: Elaboración propia a *partir de* (Minambiente; Invermar; Mintransporte, 2016). (Atlas Climatológico Ideam, 1981-2010).

En la Figura 13, se pueden observar las áreas con amenazas de inundación, erosión y geoamenazas, en las zonas portuarias ubicadas en el golfo de Morrosquillo.

**Figura 13 Áreas expuestas a diversas amenazas en zona costera de Golfo de Morrosquillo**



Fuente: (INVMAR - MINAMBIENTE, 2018).

- Para el área de Tolú, se identifican riesgos de erosión costera, áreas anegadas por precipitación pluvial, encharcamiento por deficiente drenaje superficial, desbordamiento de corrientes naturales y áreas susceptibles a inundación por cobertura. Las amenazas se materializan como amenazas por erosión laminar, amenaza por erosión litoral, disolución y susceptibilidad a inundación natural.

### 6.5.2. Vulnerabilidad al cambio climático

De acuerdo con el (IPCC, 2014), la vulnerabilidad al cambio climático es la predisposición para afectar por cambios del clima. Dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático al que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación.

*El (IPCC, 2007) considera que los cambios climáticos se manifiestan principalmente, por el aumento de la temperatura promedio de la superficie terrestre con diferencias por regiones, por cambio en patrones de la precipitación global, aumento del nivel del mar, mediciones satelitales evidencian incrementos del 2,8 mm a  $\pm 0,44$  mm año en periodo de 1992-2011, modificaciones en patrones de eventos extremos, con incertidumbre en cuanto a intensidad o frecuencia de estos, alteración en la hidrología costera son asuntos críticos citado por (Castro, 2018).*

“El cambio climático es un fenómeno con alto grado de incertidumbre, por lo que requiere una administración de riesgos apropiada. Los escenarios pueden ser sensibles a los supuestos utilizados. Por lo cual, no pueden ser considerados como pronósticos definitivos” (Galindo, Samaniego, Alatorre, & Carbonell, 2014, pág. 16). La literatura describe la vulnerabilidad de los puertos ante diversos eventos como el incremento del nivel del mar, episodios de lluvias extremas, vientos huracanados o ciclónicos. Su afectación a los equipos portuarios, a la infraestructura, a la capacidad operativa y a las unidades que integran los sistema de tratamiento, está poniendo en riesgo la sostenibilidad no solo del puerto sino también de su área de influencia (Castro, 2018).

En síntesis, la vulnerabilidad al cambio climático es el riesgo negativo frente los efectos del clima y está dado por tres factores que son: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa:

Para el (IPCC, 2014), *“la exposición es todo lo que está en riesgo de ser afectado negativamente por el cambio climático (personas, recursos, economía, entre otros). Mientras que la sensibilidad es la susceptibilidad al daño de los bienes y medios de vida provocados por cambio climático, mientras que la*



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

*capacidad adaptativa, es la capacidad de adaptación a las condiciones cambiantes generadas por el clima”.*

Es importante, conocer que la adaptación tiene como objetivo la reducción de los impactos y la exploración de nuevas posibilidades provocadas por el cambio climático (Moreno & Becken, 2009).

## **6.6. Definiciones riesgo, amenaza, vulnerabilidad, GEI, huella carbono y sistemas renovables.**

### **6.6.1. Reducción de riesgo**

$R$  (Riesgo) =  $A$  (Amenaza) x  $V$  (Vulnerabilidad). Para reducir el riesgo, se puede actuar sobre la amenaza y/o la vulnerabilidad asociada. La vulnerabilidad siendo dada por exposición a factores de amenaza, existen múltiples formas de analizar cómo se puede reducir el conjunto de los dos que se describe como el riesgo.

### **6.6.2. Reducción de la amenaza**

En este caso consideramos los factores asociados al cambio climático y su génesis, no existen muchas oportunidades de reducción de los factores intrínsecos que están llevando hoy a una amenaza climática caracterizada para algunas zonas del mundo y más específicamente de Colombia, como lo puede estar describiendo el IPCC en su último informe, considerando que, con “La adopción de medidas inmediatas puede asegurar nuestro futuro” (IPCC, 2022).

### **6.6.3. Reducción de la vulnerabilidad a factores amenazantes**

Son las intervenciones, acciones y esfuerzos enfocados en reducir o eliminar las fuentes de gases de efecto invernadero, en valores que impida la interferencia que estas emisiones generan en el sistema climático (CGF-DNP, 2016). Lo anterior implica que las medidas de mitigación están direccionadas a una reducción del impacto ambiental general; si bien parten de acciones individuales de un sujeto, en este caso la empresa Compas, los beneficios aportan a la

disminución del impacto en Colombia, logrando mantener el capital natural y biodiverso del planeta.

#### **6.6.4. Identificación de fuentes de emisiones actuales y futuras de GEI.**

En un proceso de definición de vulnerabilidad ante riesgo climático, es importante entender cuál es el aporte en gases de efecto invernadero (GEI) que el puerto genera a la atmosfera, con el objeto de incorporar estrategias que permitan disminuir la huella de carbono. Para definir las emisiones directas e indirectas de GEI se clasifican en 3 alcances, en donde las emisiones en el alcance 1 son las que proviene del consumo de combustible en la gestión portuaria, grúas, equipos portuarios, en el alcance 2 son las que provienen del alumbrado del puerto, consumo eléctrico de oficinas, aires acondicionados, etc. Y en el alcance, se consideran 3 las emisiones generadas por los usuarios del puerto y otras fuentes, tales como son embarcaciones, camiones que traen carga, aviones para transportar personal del puerto, vehículos para transportar el personal directo, entre otros. (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016, pág. 39)

#### **6.6.5. Compensación de huella de carbono**

Implica la neutralización de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) generadas por la operación de los servicios de la instalación portuaria, una vez medidos los GEI generados de manera anual. Esto se encuentra totalmente alineado con el objetivo de desarrollo sostenible No 13 Acción por el clima. El 4 de diciembre del 2020, Colombia al ratificar el Acuerdo de Paris, contribuyendo en el esfuerzo global para frenar el cambio climático, se ha comprometido a una reducción del 51% de las emisiones de gases de invernadero al 2030 respecto a la línea base proyectada (WWF, 2020). Existen diversos mecanismos para compensar esta huella de carbono generada, a continuación, se mencionan algunos:

- **Bonos de Carbono:** COMPAS podría compensar sus emisiones a través de la compra de un bono de carbono generado por un proyecto de siembra de árboles, estos capturan emisiones de CO<sub>2</sub> de la atmósfera o evitando la emisión. De este tipo de bonos de carbono existen los avalados a nivel internacional por Naciones Unidas. Por ejemplo, todos los créditos de carbono del mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL son registrados y rastreados en un sistema de registro establecido por el Protocolo de Kioto. Compas realizó la compensación del 50% de la huella de carbono generada en el 2020 un total de 2.127 tCO<sub>2</sub>, a través de certificados de carbono<sup>5</sup>.
- **Bonos por causación del impuesto al carbono por consumo de combustible:** Procedimiento donde se compran bonos de carbono del combustible que va a consumirse el mes siguiente, teniendo en cuenta que existe una fracción del valor pagado que equivale al sobre costo por impuesto al carbono. Todo sujeto pasivo y/o usuario final está habilitado por definición para realizar el procedimiento de no causación (Minambiente, s.f).

#### 6.6.6. Sistemas de energía renovables

Las energías renovables son fuentes de energía limpia, inagotable y crecientemente competitivas, que no producen gases de efecto invernadero (causante de cambio climático), ni emisiones contaminantes (Acciona, 2020). Entre los tipos de energía se identifican la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, undimotriz, la biomasa y biocarburantes (De la Cuesta Paredes & Torres Morfort, 2017).

Para el puerto de Valencia en España, se han realizado estudios para el desarrollo de tecnologías solar fotovoltaica y la instalación de dispositivos de almacenamiento de energía solar. De acuerdo con (De la Cuesta Paredes &

---

<sup>5</sup> Información de documentos internos de COMPAS 2022, no publicados al momento, suministrados por la directora HSE de la compañía, Zulady Pretel Palacios.

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Torres Morfort, 2017), el puerto tiene una capacidad para obtención de energía conforme con su superficie disponible de 645 kWp.

Con la implementación de estos sistemas, se busca la disminución de la generación de GEI, que es uno de los pasos indispensables en el camino de las empresas hacia la neutralidad de carbono, ya que muchos de los GEI generados están relacionados por el consumo de energía convencional. Nacionalmente, se han incorporado a nivel jurídico unas herramientas que permiten la integración de la energía generada en la red de consumo local. Con la Ley 1715 de 2014, “*Se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, promoviendo la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda*”. (Ministerio de Minas y Energía, 2022).

## **6.7. Medidas de adaptación frente al cambio climático**

Una vez se han establecido las necesidades puntuales del puerto en materia de adaptabilidad, se plantean las medidas que han demostrado buenos resultados en el manejo y disminución de diversos riesgos asociados al cambio climático. Se plantea para ello una recolección bibliográfica de antecedentes de acciones de adaptación y/o mitigación implementadas primordialmente en puertos y que de una u otra manera podrían conllevar a resultados similares en el Puerto Compas Tolú, logrando así un proceso de adaptación que le permita afrontar los desafíos que implica el cambio climático para la sostenibilidad del puerto y de sus operaciones en el golfo de Morrosquillo. A continuación, se presentan ejemplos.

### **6.7.1. Acciones de adaptación al cambio climático**

La adaptación al cambio climático impone retos económicos, sociales y ambientales, entendiendo inicialmente que las condiciones de los efectos climáticos son imparables y que las buenas acciones que llevemos a cabo hoy suman y darán sus efectos en un futuro no inmediato. (CAF, 2014). “*La adaptación, significa tanto reducir los riesgos climáticos como aumentar la resiliencia climática*” (García, Arbeláez, Suárez, Castaño, Gómez, & Barrera,

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

2015). Es aquí donde las acciones de adaptabilidad cobran importancia, ya que éstas nos permiten disminuir la vulnerabilidad asociada a los cambios climáticos y la materialización de los riesgos asociados al mismo.

Existen diferentes acciones de adaptación al cambio climático que pueden ser implementadas en el sector portuario, en las que se encuentran obras de infraestructura para minimizar impactos, aprovechamiento de materiales de dragados para relleno de playas cumpliendo especificaciones técnicas, acciones de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), e implementación de barreras de protección mediante manejo de ecosistemas costeros (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016).

Los métodos de adaptación a implementar para protección costera dependerán del tipo de peligro, si este es derivado de fenómenos extremos como la inundación permanente o de evolución lenta por la consecuencia de la subida del nivel del mar. De acuerdo con el tipo de peligro, se deben implementar acciones y aplicar técnicas ajustadas a la situación.

### **6.7.2. Adaptación a través de obras de infraestructura**

La infraestructura física tiene un impacto sobre el crecimiento, la eficiencia del sector productivo y el desarrollo social, tanto por sus efectos en materia de conectividad y acceso de la población a los servicios, como por su papel determinante en el progreso regional y local y en la integración nacional e internacional (DNP, 2006 citado por (DNP, 2012, pág. 71)).

*“Con los años por efecto del cambio climático y la variabilidad climática, la infraestructura portuaria puede estar operando bajo condiciones diferentes a las analizadas durante su diseño, lo cual puede poner en riesgo la operatividad y la productividad del puerto. Los eventos como inundaciones (por la disminución en la capacidad de drenaje), vientos huracanados, lluvias torrenciales, aumentos del nivel del mar, pueden generar que sea necesario realizar ajustes para optimizar la resiliencia de los puertos, no sólo a nivel de infraestructura, sino también a nivel de maquinaria, buscando mayor*

*adaptación a las nuevas condiciones climáticas de funcionamiento. Para identificar las inversiones que contribuyan adecuadamente con la mitigación de la vulnerabilidad y evitar sobre costos es necesario realizar estudios minuciosos y detallados que responda adecuadamente como solución al problema” (DNP, 2012).*

### **6.7.3. El manglar como mecanismo adaptativo**

Es usual encontrar ecosistemas de manglar aledaños a las zonas portuarias, ya que estos tienen gran predominancia en las costas. El manglar es un ecosistema marino-costero ubicado en los trópicos y subtrópicos del planeta, cuya especie fundamental es el mangle. Poseen alta biodiversidad, al albergar gran cantidad de organismos brindándoles protección y en sus raíces produce descomposición y transformación de materia orgánica, contribuyendo a la purificación del agua que llega al mar. Favorece la reproducción, desarrollo y protección de especies marinas, reduce el impacto de las mareas depositando barro y formando pantanos donde se fijan los organismos (Minambiente, 2021).

Igualmente, sirve como estabilizador de la línea costera ayudando en el control de erosión y constituye una barrera natural de amortiguamiento que protege a las costas de marejadas y vientos huracanados a manera de cortina rompe vientos. Previene inundaciones y depura el aire, detiene la salinización que se desplaza hacia suelos agrícolas marinas (Minambiente, 2021).

Se ha encontrado que puede funcionar como una barrera natural a eventos climáticos, incluso podría funcionar como protección del desgaste de infraestructura portuaria, la protección de línea de playa y salvaguardar la vida y los enseres de personas que habitan cercanas a las costas y su línea de playa. Estas barreras consideradas como “bioescudos” ante amenazas naturales son una gran posibilidad para incluir acciones preventivas en el ámbito de la protección a la sociedad civil (Banco Mundial, 2011, págs. 82-83).

#### 6.7.4. Medidas de adaptación en el Puerto de Rotterdam

. La Autoridad Portuaria de Rotterdam lanzo un programa de "Estrategias de adaptación para gestión de inundaciones". Principalmente consiste en generar conciencia sobre los posibles riesgos que conllevan los cambios climáticos, los informes describen cambios y medidas (estrategias de adaptación) asociado con la construcción de áreas portuarias de tres a seis metros sobre el nivel del mar y parcialmente protegidas por barreras contra marejadas ciclónicas (Portal Portuario, 2021).

Los escenarios predicen un aumento del mar para este puerto de 35 cm a 110 cm hacia 2100. Debido a la importancia económica, vitales y vulnerable de del puerto, se proponen implementar estrategias de adaptación eficaz que combinen medidas preventivas, de adaptación del espacio y respuesta a emergencias de acuerdo posibilidades de inundación y afectación a las actividades que se realicen (Portal Portuario, 2021).

Entre las principales medidas se identificaron las siguientes (Portal Portuario, 2021):

- **Medidas preventivas:** mediante la toma de medidas materiales, elevación de barreras, sitios y estructuras de protección.
- **Adaptación del espacio:** preparación de sitios y recursos, elevación de los sistemas y lugares vulnerables y la "Impermeabilización" de edificios y bienes.
- **Manejo de crisis:** diseño de planes de emergencia, recuperación y gestión de crisis y la preparación de centros de emergencia.

En Rotterdam se están desarrollando iniciativas de transición energética y de economía circular, que buscan contribuir mediante reducción de huella medioambiental del puerto para la mitigación de cambio climático.

### **6.7.5. Medidas de adaptación en el Suroeste de Europa**

Los puertos del Suroeste de Europa trabajan en el desarrollo de proyectos de investigación buscando identificar impactos del cambio climático a escala local con el fin de diseñar estrategias de adaptación adecuadas. El proceso comprende la evaluación de los principales riesgos, se identifica qué infraestructura y qué áreas operativas podrían verse afectadas. Luego, se proponen unos escenarios de cambio climático, para contrarrestar los efectos a escala local en el entorno portuario, se elaboran estrategias de adaptación a los efectos del cambio climático, incluyendo un plan de prevención de riesgo y propuesta de medidas y protocolos de actuación y caso de alertas, buscando que se realicen inversiones responsables para mantener el estado de resistencia a las inundaciones (Fundación Valenciaport, sf).

El proyecto es liderado por la Fundación Valenciaport, y participan cuatro socios tecnológicos: Puertos del Estado, Hidromod, Cerema y la Fundación para la Investigación del Clima, y tres puertos, los de Valencia, Aveiro y Burdeos (España, Portugal y Francia). En estos puertos, se organizarán unas jornadas de sensibilización y pilotos de las herramientas desarrolladas donde se analizan las principales variables climáticas afectadas y sus impactos (Fundación Valenciaport, sf).

### **6.7.6. Medidas de adaptación propuestas por la Junta de Comercio y Desarrollo<sup>6</sup>**

Indica que las evaluaciones de los riesgos de las infraestructuras de transporte costeras están integradas por distintos análisis constitutivos:

1. Análisis de los peligros climáticos provocados por los cambios en los factores climático.

---

<sup>6</sup> Organismo adscrito a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNTAD), la junta tiene tres comisiones: la Comisión sobre Comercio en Bienes y Servicios y Commodities; la Comisión de la Inversión, la Tecnología, y los Temas Financieros Conexos; y la Comisión de la Empresa, la Facilitación de la Actividad Empresarial y el Desarrollo.



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

2. Análisis de las exposiciones de las infraestructuras y las operaciones de transporte presentes en las zonas de peligro.
3. Análisis de vulnerabilidad que hacen que los activos y sistemas de transporte sean susceptibles a sufrir daños y pérdidas como consecuencias de peligros costeros.

En algunos casos, recomiendan que, para adaptar los puertos y otras infraestructuras de transporte costera al cambio climático, puede ser necesario construir nuevas infraestructuras resilientes, así como adoptar medidas para fomentar la resiliencia de las existentes, lo cual engloba medidas de adaptación tanto duras como blandas. Así mismo, es necesario contar con mecanismos de adaptación social, institucional y basadas en los ecosistemas para utilizar en el contexto de la adaptación al cambio climático en general.

En Tabla 4, se resumen las principales medidas implementadas por varios puertos en diferentes países para afrontar los cambios climáticos a fin de disminuir riesgos en su operación.

**Tabla 4 Medidas adaptadas por otros puertos**

País	Medidas de implementadas para adaptación frente al cambio climático
<b>Estados unidos</b>	Existen aproximadamente 350 puertos comerciales articulados en torno a estructura portuaria. Dos de sus puertos se sitúan en los rankings de los 20 primeros a nivel mundial en volumen de carga manipulada: Long Beach y Los Ángeles. En Estados Unidos, en el puerto de San Diego, se está desarrollando proyectos piloto que combinan la protección del litoral con la mejora de la diversidad local en nuevos arrecifes. Con ello consideran que la ciudad será más resistente a la subida de nivel del mar y a los fenómenos meteorológicos extremos a largo plazo (Prosertek.com, 2021).
<b>Canadá</b>	Tiene alrededor de 550 instalaciones portuarias, 17 son autoridades portuarias, debido a su importancia estratégica, regional, nacional, continental e internacional. El gobierno ha invertido cerca de 715 millones de dólares en infraestructura desde el 2005, los puertos aportan al PIBcerca del 1,8% a través de empleo e impacto directo. Están centrados en mejorar equipamiento tecnológico monitoreo para responder de forma temprana ante los cambios medioambientales, infraestructura resistentes y reducción de emisiones (Prosertek.com, 2021).
<b>México</b>	Cuenta con 103 puertos y 15 terminales fuera de puerto, conectándose con 145 países. Están centrados a inversión en reforzamiento estructural y aumento de capacidad portuaria. No se encuentran detalles de estudios

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

País	Medidas de implementadas para adaptación frente al cambio climático
	relacionados a mitigación de efectos de cambio climático (Prosertek.com, 2021).
<b>Rotterdam</b>	<p>Medida conjunta entre la municipalidad de Rotterdam y la autoridad del Puerto. El programa denominado Delta de Rijnmond-Drechtsteden, consiste en un sistema de gestión de riesgo contra inundaciones, en donde no solo las empresas si no también los habitantes de las zonas son los responsables de introducir medidas prediseñadas para limitar los posibles estragos de las inundaciones. Estas medidas se resumen en:</p> <p>a. Medidas preventivas: elevación de las barreras, sitios y estructuras de protección: es decir manejo de pendientes y muros de muelles ubicados en la zona.</p> <p>b. Medidas adaptativas: el aumento de nivel de suelo de lugares vulnerables y la “impermeabilización” de edificios y bienes que podrían ser afectados ante eventos de inundación.</p> <p>c. Manejo de crisis: diseño de procesos de atención y gestión de emergencias, preparación de sitios para atención de emergencias.</p> <p>fuente: (PortalPortuari, 2021), (Díaz Calle &amp; Anzola Pinzón, 2018)</p>
<b>Proyecto H2OCEAN financiado por Unión Europea</b>	Permite la generación de energía proveniente de las olas y el viento para uso en una plataforma marina offshore (mantiene fija) ubicada en el mar abierto; incluye además un proceso de conversión de energía en hidrógeno que puede ser almacenado y transportado. Ubicado en el Mar del Norte: Mar de Wadden, Sitio de Gemini; este parque eólico posee un área de 150 turbinas Siemens de 4 MW, con dos subestaciones de 220 kV y dos cables submarinos necesarios para la conexión en tierra en Eemshaven (Julián Rodrigo & Quintero González, 2015), (Cordis, 2012-2015).
<b>PUERTO DEL MUSEL (GIJÓN, ASTURIAS)</b>	Esta obra fue realizada en el 2005 y constituye una de las actividades de adaptación de protección erosiva más grandes del Puerto Musel, el conjunto de las obras de protección representa 3.797 m de dique de abrigo formado por 1.433 m (dique Torres, con tipo talud), 1.566 m (dique Norte, con tipo vertical) y 798 m de contradique • 1.365 m de muelle de 23 m de calado • 1.650 m taludes interiores en cierre explanada. Estos elementos conforman una de las actividades de adaptación para contrarrestar los principales efectos del cambio climático: aumento del nivel del mar y condiciones meteorológicas adversas, que pongan en peligro la infraestructura portuaria y el funcionamiento del Puerto (González Collado, 2017).
<b>Emiratos Árabes Unidos</b>	Este proceso de modificación del sistema de generación de energía a gas natural representó una disminución de emisiones de CO <sub>2</sub> . Las cifras lo demuestran; mientras que en 1990 los Emiratos Arabes Unidos emitieron 32,6 toneladas de CO <sub>2</sub> per cápita, en el 2002 el valor había descendido a 25,1 toneladas. Cómo grandes contribuyentes del calentamiento global los gases de efecto invernadero deben ser disminuidos; Las acciones están consideradas de mitigación más que adaptabilidad; Se plantea lograr unos procesos de generación de energía limpia como parte del camino para lograr economías bajas en carbono (Rodríguez Araujo, Chaparro Millán, Vargas Ramos, & Monroy Vargas, 2018).

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

<b>País</b>	<b>Medidas de implementadas para adaptación frente al cambio climático</b>
<b>Seúl</b>	Este proyecto integrado pretende convertir a Seúl en un lugar más fresco y evitar el impacto de las olas de calor en la salud humana en lugares muy concurridos. El sistema consiste en rociar microgotas de agua (20 µm) a alta presión provocando un proceso de evapotranspiración, disminuyendo la temperatura del sitio en 10°C disminuyendo también el material particulado (PMs) presentes en el aire; el cual además tiene niveles de concentraciones consideradas relevantes en la ciudad (Economic Commission for Latin America - ECLAC, 2021).
<b>Busan</b>	Busan establecer un sistema de monitoreo de condiciones con pronóstico en tiempo real; el cual consiste en un tablero inteligente que además muestra videos en tiempo real de circuito cerrado de televisión CCTV, mejoró su sistema de alarmas e incluyó una aplicación móvil. Adicionalmente, existen otras estrategias tecnológicas que permitirán sumar mayor flujo de información para generar alertas tempranas y disminuir el impacto generado por los desastres por inundación (Economic Commission for Latin America - ECLAC, 2021).

Fuente: Elaboración propia a partir de información referenciada.

## 7. Diseño Metodológico

### 7.1. Tipo de Investigación

Esta investigación es de tipo cuantitativa correlacional (Hernandez-Sampieri & Torres, 2018) y busca conocer el patrón o tendencia de las variables temperatura (°C), precipitaciones (mm) y nivel del mar (m), cada una en diferentes periodos.

### 7.2. Fases de la Investigación

#### 7.2.1. Componente estadístico de la investigación

I. **Obtención de los datos de las variables meteorológicas**, como temperatura (°C), precipitaciones (mm) y nivel del mar (m) en la estación meteorológica de Coveñas- Golfo de Morrosquillo. Se usarán los promedios mensuales.

II. **Construcción de los modelos de las series temporales mensuales de las variables de interés**. Se hará una selección de los periodos de estudio para para la construcción de los modelos de las series temporales mensuales de las variables de interés, teniendo en cuenta los datos faltantes dado que los periodos con exceso de datos faltantes generan ruidos adicionales al ruido blanco por lo que implican el uso de metodologías adicionales para completar la serie. Sin embargo, en caso de ser requerida una imputación de datos faltantes para periodos no consecutivos, una metodología promedio móvil simple puede ser conveniente.

La serie de tiempo de las variables temperatura (°C) y precipitaciones (mm) se analizarán para el periodo 2005-2020, la variable nivel del mar (m) para el periodo 2015-2019.

III. **Verificación de la normalidad y estacionalidad de las series temporales de las variables de interés** a través de las pruebas Shapiro-Wilk (paquete stats de R) y la Prueba Dickey-Fuller (paquete tseries de R), respectivamente.

- IV. **Calibración de los modelos de predicción de datos futuros:** Utilizando los paquetes de datos del programa estadístico R Studio se seleccionará el mejor modelo que se ajuste a las series de las variables de interés.
- V. **Verificación de los supuestos de los modelos** para cada una de las características de los residuos: Independencia: usando el método de Ljung-Box y normalidad de residuos: usando el método de Jarque-Bera.
- VI. **Determinación de la evolución en el tiempo las variables de interés.** Descomposición estructural de las series usando la función *decompose* del paquete *stats*. Se enfatiza en las tendencias, para conocer la evolución en el tiempo las variables de interés.
- VII. **Análisis de varianzas.** Para complementar el análisis de las tendencias de las variables de interés se realizarán análisis de varianzas con bloques aleatorios, usando los años como factor de bloqueo, para identificar si existe una diferencia significativa entre los valores anuales que permitan conocer si ha habido aumento en las magnitudes de las variables y se estimarán las tasas de variación de años consecutivos.

### 7.2.2. Cálculo del índice de riesgo climático

A continuación, se relacionan los procedimientos metodológicos para calcular los riesgos por el cambio climático en la gestión portuaria (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016).

1. **Etapa uno - Diagnostico de las condiciones actuales:** Consiste en realizar una compilación y organización de información disponible del área de estudio en la zona portuaria de Santiago de Tolú, sobre factores físicos, bióticos, económicos, socioculturales e institucionales, con el fin de evaluar los posibles impactos y oportunidades del cambio climático.
  - a. Estimación de emisiones GEI actuales y futuras del puerto

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

- b. Análisis de vulnerabilidad para la infraestructura y operación portuaria frente a las amenazas climáticas actuales y futuras.

## **2. Etapa Análisis de vulnerabilidad frente al cambio climático**

Se aplican las disposiciones señaladas por el ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y cuyos pasos se resumen a continuación (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016).

- a. Definir eventos climáticos relevantes para la operación portuaria.
- b. Definir el espacio geográfico sobre el cual se va a realizar el análisis.
- c. Información climática de línea base.
- d. Identificar factores de éxito en el funcionamiento de la terminal portuaria que puedan verse afectados de forma directa e indirecta.
- e. Aplicar la ecuación para estimar la vulnerabilidad  
 Índice de Riesgo Climático Empresarial = probabilidad de ocurrencia x consecuencia esperada  

$$IRCE = PO \times CE$$
 Vulnerabilidad Climática empresarial = Índice de Riesgo Climático Empresarial \* Capacidad de Adaptación.
- f. Identificación de posibles impactos, lo cual implica un conocimiento complejo del funcionamiento de la terminal portuaria y de la empresa, del sistema biótico, abiótico y socioeconómico.
- g. Análisis de riesgos climáticos empresariales, a partir de (1) probabilidad de ocurrencia, (2) consecuencias esperadas y (3) capacidad adaptativa.

### **7.2.3. Información secundaria cuantitativa de interés**

A partir de la revisión documental secundaria existente, se incorporaron unos elementos técnicos que permitieron analizar los datos históricos de eventos asociadas a precipitación, temperatura media multianual del 1981 a los registros más recientes; en el área cercana al puerto, también fueron tomados de las bases

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

de datos Desinventar, Unidad Nacional de Gestión del Riesgo desde el 2010 a la fecha, así como la información del IDEAM.

A continuación, se relacionan los procedimientos metodológicos para calcular los riesgos por el cambio climático en la gestión portuaria:

Etapa uno - Diagnostico de las condiciones actuales: consiste en realizar una compilación y organización de información disponible del área de ubicado en la zona portuaria de Santiago de Tolú, sobre factores organizativos que pueden implicar toma de decisiones e inversiones asociados a acciones de adaptabilidad y mitigación del cambio climático en la instalación portuaria de Compas Tolú. Se realizará también una recolección de información acerca de las condiciones climáticas y meteorológicas de la zona de estudio, además de estudios realizados en la instalación portuaria, versus las proyecciones generadas en diversas bibliografía entre las cuales se destaca La Guía de adaptación climática para puertos y la tercera comunicación nacional de Colombia de cambio climático, con el fin de evaluar los posibles impactos y oportunidades del cambio climático.

Para el desarrollo de los análisis se parte de que la adaptación a la vulnerabilidad climática está dada por cuenta de la sensibilidad que posee el puerto para asumir las alteraciones asociadas al cambio climático, sin poner en riesgos la sostenibilidad del negocio, en su relación con el medio ambiente, las comunidades de la zona de influencia y el modelo financiero planteado en sus operaciones.

Adicionalmente, se realizó un análisis interno, a partir del diseño y aplicación de una encuesta interna a 37 personas de la compañía, en diferentes roles o cargos, con la cual se busca valorar el conocimiento y el grado de concienciación que presentan los encuestados frente a los temas de cambio climático y posibles consecuencias sobre el Puerto de COMPAS Tolú. Las preguntas guardan la relación en cuanto a las variables definidas en los objetivos: vulnerabilidad, sensibilidad, riesgos y oportunidades, adaptación, mitigación.

### **7.3. Recolección de la Información y análisis**

(Wei, Times serie analysis, 2006) define una serie de tiempo como una realización o función muestral de cierto proceso estocástico que corresponde a una sola observación del proceso. En otras palabras, una serie de tiempo es una realización de un proceso estocástico, el cual se define como una familia de variables aleatorias indexadas en el tiempo  $Z(w,t)$ , donde  $w$  pertenece a un espacio muestral y  $t$  pertenece a un conjunto de índices. En este caso, para un valor fijo de  $t$ ,  $Z(w,t)$  es un variable aleatoria o para un  $w$  determinado,  $Z(w,t)$ , como función de  $t$ , es llamada función muestral o realización (de aquí en adelante se escribirá solo  $Z_t$ ). A partir de los datos recolectados se propone realizar una modelación de las serie temporal, a partir de los datos suministrados por fuentes de la (Dirección General Marítima – Estación meteorológica de Coveñas- Golfo de Morrosquillo – (DIMAR, 2021) (DIMAR, 2021b) (DIMAR, 2021c)).

### **7.4. Software Especializado**

Para la construcción de los modelos de las series de tiempo, validación y visualización, se usará el programa estadístico R Studio (libre de licencia) y los paquetes especializados (*forecast*, *stats*, *tseries*).

### **7.5. Análisis externo**

Para lograr un análisis organizacional completo y que permita comprender el macroentorno y el entorno de la Compas, se plantea un análisis DOFA; esta es una herramienta que fusiona dos tipos de análisis el externo y el interno, por lo tanto, sumado con el diseño de encuesta otorgará información suficiente para establecer ambos contextos de manera clara.

La evaluación externa por su parte se describe en las oportunidades y amenazas; las cuales se resumen en ambiente social, el análisis de industria, las macrotendencias que pueden afectar este tipo de industrias. La evaluación interna se describe en las fortalezas y debilidades; son elementos que recaen en la



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

estructura organizacional, en la cultura, estrategia organizacional, activos humanos, físicos y técnicos. Fuente: Administración estratégica y política de negocios – conceptos y casos (Wheelen L & Hunger , 2007).

El DOFA permite visualizar de manera clara y precisa los elementos de una industria tan compleja como la industria portuaria. El ejercicio se llevará a cabo de manera particular para el puerto de Compas Tolú, ya que posee condiciones totalmente diferentes a los otros puertos de Compas, siendo un puerto multipropósito y el único de Compas ubicado en la zona portuaria del golfo de Morrosquillo

## **7.6. Análisis interno**

Para el análisis se realizó una encuesta interna a 37 personas en diferentes roles o cargos de la compañía COMPAS S.A.S, buscando conocer cuáles eran la percepción frente a los riesgos asociados al cambio climático y que tan consientes estaban sobre la posible afectación a la sostenibilidad del negocio, el medio ambiente, las comunidades de la zona de influencia y la proyección financiera planteada en sus operaciones.

La encuesta fue desarrollada a partir de un total de cinco (5) variables<sup>7</sup> las opciones de respuestas fueron diseñadas en la escala de Likert. Para la validación de la encuesta (instrumento de medición de variables de estudio), se aplicó el procedimiento metodológico para el que se identificó y selecciono un total de cinco (5) expertos. A estos, se les solicitó valorar, de acuerdo con sus conocimientos, el grado de validez de las propuestas, es decir, si las preguntas diseñadas cumplieran con los criterios de claridad en la redacción, enfoque conceptual y relación a preguntas variables (ver anexos información

---

<sup>7</sup>Adaptación, Reconocimiento del Tema, Vulnerabilidad, Riesgo de Oportunidad, Adaptación y Mitigación

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

relacionada). Se utilizó un instrumento de medición, el cual puede ser consultado en el Anexo 3.

### 7.6.1. Población, muestra

La población de acuerdo con (Sarmiento Lugo & Fernández Hernández, 2013), se define como el conjunto de todos los entes a los cuales se puede aplicar las conclusiones obtenidas a través de predicción, estimación o verificación de una hipótesis. Mientras que la muestra, se consideran que es cualquier subconjunto de miembros seleccionados de una población.

Para el estudio, se utilizó el tipo de muestreo es ***no probabilístico por conveniencia*** (Abascal, 2010), también conocido como muestreo discrecional, intencional o por juicio para la selección de las personas de la empresa COMPAS S.A.S que fueron entrevistas , ya que se busca buenos informantes, es decir, personas conocedoras, lúcidas, reflexivas y dispuestas a hablar ampliamente con el investigador, en el cual el número de personas a entrevistar no son estimados mediante el cálculo estadístico. La muestra o unidades de selección o individuos a estudiar fueron seleccionados a criterio de la investigación, teniendo en cuenta que las personas seleccionadas tienen conocimientos que pueden aportar información adecuada (Sarmiento Lugo & Fernández Hernández, 2013).

## 8. Resultados

### 8.1. Procesamiento Estadístico de Datos

A continuación, se presentan los modelos estadísticos de manera gráfica de los datos recolectados y procesados.

### 8.2. Análisis descriptivo temperatura

La temperatura promedio se ha registrado en rango de 29,69 °C a 30°C, las temperaturas promedio más altas se registran en los meses de junio a julio con un registro de promedio más alto en mayo del 2010 de 33,6°C.

**Tabla 5 comportamiento promedio de las temperaturas**

año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total general
2005												29,4	29,4
2006	29,7	29,4	29,4	29,3	30,1	30,7	30,9	31,0	30,4	30,0	29,8	30,5	30,1
2007	29,9	29,5	29,5	29,5	29,5	30,9	31,5	30,2	30,3	29,4	30,3	29,9	30,0
2008	29,7	29,0	29,3	29,6	29,7	31,6	31,2	30,6	30,3	30,6	29,4	29,7	30,1
2009	29,8	29,2	28,6	30,0	30,1	29,4	31,4	31,0	31,1	29,9	30,8	30,8	30,1
2010	31,9					33,6	30,8	29,8	30,9	31,0	29,0	28,6	30,0
2011	30,5	29,5	28,9	29,2	29,4	30,9	30,0	30,0	29,6	29,1			29,7
2013	30,1	29,9	29,5	30,7	29,9	32,1	31,8	30,6	30,6	30,3	30,0	30,6	30,5
2014	30,0	30,0	29,7	30,3	30,7	31,6	31,9	31,1	31,3	30,4	30,6	30,2	30,6
2015	29,4	29,6	29,7	29,7	30,9	33,1	31,5	31,3	30,9	30,4	30,5	30,7	30,6
2016	29,9	29,8	30,1	30,0	29,9	30,4	31,2	31,7	30,9	30,5	30,4	31,2	30,5
2017	29,7	29,5	29,5	30,5	30,2	31,4	31,9	31,0	30,6	30,9	30,7	30,9	30,6
2018	31,0	30,4			30,0	31,0	31,6	31,6	30,7	30,6	30,4	31,0	30,9
2019	25,0	24,8	26,2	26,8	26,4	26,6	26,1	25,6	25,4	25,5	26,0	26,0	26,0
2020	29,7	29,6	29,5	29,8	30,1	30,7	30,5	30,8	30,1	30,0	29,7	31,0	30,1
<b>Total general</b>	<b>29,6</b>	<b>29,5</b>	<b>29,2</b>	<b>29,6</b>	<b>29,7</b>	<b>30,8</b>	<b>30,9</b>	<b>30,5</b>	<b>30,2</b>	<b>29,8</b>	<b>29,8</b>	<b>30,0</b>	<b>30,0</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos (DIMAR, 2021)

**Tabla 6 Valores máximos de temperaturas registrados mensualmente**

año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total general
2005												30,3	30,3
2006	32,8	32,9	31,8	34,6	32,7	35,4	35,7	36,3	33,6	33,5	34,2	31,8	36,3
2007	31,8	31,7	30,5	33,6	34,5	32,9	35,9	34,4	35	32,2	34,9	35,2	35,9
2008	34,1	30,8	31,7	30,8	34	34,9	33,8	34,4	34,3	33,9	32,6	34,2	34,9
2009	34,7	32,4	29,7	32,4	32,7	32,5	36,3	35,8	35,4	33	33,9	30,8	36,3
2010	31,9					33,8	33,8	33,4	34,6	32,7	31,4	30,8	34,6
2011	35,2	33	33,1	33,4	31,6	33,7	34,6	32,8	33	33,7			35,2
2013	34,5	31,8	31,5	34,7	31,8	37	37	34,6	31,8	34,8	33,5	36,6	37
2014	31,8	30,7	31,2	31,9	34,6	37,4	37,7	34,6	34,8	34,6	34,8	33,7	37,7
2015	30,9	31,2	31,1	30,9	34,2	40,2	36,2	33,7	35,2	32,8	34	33	40,2
2016	34,2	33,7	31,3	31,1	32,2	35,7	37,4	37,3	34,1	34,8	34,8	35,9	37,4
2017	34,2	30,8	30,9	33	34	34,6	37	35	33,1	35,3	35,1	35,3	37
2018	37,2	35,4			32,8	35,4	37,1	37,2	33,7	34,1	34,2	35,9	37,2
2019	27,4	25,6	27,3	28,3	28,8	29,3	28,5	28,8	27,4	26,7	27,2	28,6	29,3
2020	33,3	31,8	33,1	31,1	32,3	35,4	32,3	34	32,6	33,1	31,9	34,8	35,4
<b>Total general</b>	<b>37,2</b>	<b>35,4</b>	<b>33,1</b>	<b>34,7</b>	<b>34,6</b>	<b>40,2</b>	<b>37,7</b>	<b>37,3</b>	<b>35,4</b>	<b>35,3</b>	<b>35,1</b>	<b>36,6</b>	<b>40,2</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (DIMAR, 2021)

El valor máximo de temperatura se registró en 40,2 °C en el año 2015, lo cual puede estar asociado al fenómeno “El Niño” en el que se caracteriza por una disminución sustancial de las precipitaciones y altas temperaturas en la región Caribe y Andina. Para junio del 2015, se mostraron a nivel general comportamientos por encima de lo normal en amplias zonas de la región Caribe en donde se presentaron valores por encima de los 2.0 °C (IDEAM, 2015, pág. 3).

Para realizar el siguiente análisis se registraron todos los rangos de temperatura registrados a la 1 de la tarde y se clasificaron en escala inicial de 22°C - 25,5°C y la más alta con temperaturas superiores a 40°C.

Se encontró que los mayores registros se encuentran principalmente en los rangos de temperaturas que van de 27,5 °C -30 °C y 30°C -32,5°C son porcentaje del 39,02% y 43,10% ver tabla 5 y 6.

**Tabla 7 Acumulado de días con rangos de temperatura histórica 2006-2015.**

Temperatura	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015
> 40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
37,5-40	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4
35-37,5	0	5	3	0	3	0	1	5	3	4
32,5-35	0	18	23	26	14	13	20	16	28	28
30-32,5	1	140	127	134	134	33	79	150	198	194
27,5-30	2	180	179	178	127	52	165	102	128	115
25-27,5	0	12	10	14	13	9	18	7	6	9
22,5-25	0	0	2	1	4	1	3	0	0	3
20-22,5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total días</b>	<b>3</b>	<b>355</b>	<b>345</b>	<b>353</b>	<b>295</b>	<b>108</b>	<b>286</b>	<b>280</b>	<b>364</b>	<b>358</b>

Fuente: Elaboración propia a partir (DIMAR, 2021)

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

**Tabla 8 Acumulado de días con rangos de temperatura histórica 2006-2020**

Temperatura	2016	2017	2018	2019	2020	Total	Máximo	Porcentaje	Promedio
> 40	0	0	0	0	0	1	1	0,02%	0,1
37,5-40	0	0	0	0	0	5	4	0,11%	0,3
35-37,5	5	6	8	0	1	44	8	0,99%	2,9
32,5-35	31	27	25	0	12	281	31	6,33%	18,7
30-32,5	189	193	180	0	163	1915	198	43,12%	127,7
27,5-30	118	128	54	35	172	1735	180	39,07%	115,7
25-27,5	12	11	7	215	7	350	215	7,88%	23,3
22,5-25	3	0	3	89	1	110	89	2,48%	7,3
20-22,5	0	0	0	2	0	3	2	0,07%	0,2
<b>Total días</b>	<b>358</b>	<b>365</b>	<b>277</b>	<b>341</b>	<b>356</b>	<b>4444</b>	<b>728</b>	<b>100%</b>	<b>296,3</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de (DIMAR, 2021)

Los registros meteorológicos no han sido constantes durante los años de registro ya que para el año 2009, 2010, 2011 y 2018, se tuvieron registros menores a 300 días continuos del año, los cuales principalmente se deben a descartes por errores de la medición asociados a causas no identificadas. En general, el comportamiento en los registros de la temperatura se centra en temperaturas de 27,5°C a 35°C, lo cual se puede observar en la Tabla 8 en el cual gráficamente aprecia una tendencia de los registros en estos rangos. Para el año 2019, gráficamente fue un año atípico en el que se puede evidencia que los mayores registros de temperaturas se ubicaron en los rangos de 25°C -27,5°C, de acuerdo con los reportes de boletines No. 126 al No.137 del IDEAM del año 2019, revisados para la zona de no se reportaron afectaciones de incrementos de temperatura asociados por el fenómeno “El Niño<sup>8</sup>” (IDEAM, 2019).

<sup>8</sup> “El Niño”, de acuerdo con estudios del IDEAM afecta con déficit significativo de precipitaciones, así como el aumento importante de temperaturas máximas durante el día y disminución de las mínimas en horas de la madrugada especialmente en región Caribe y Andina (IDEAM, 2019).

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

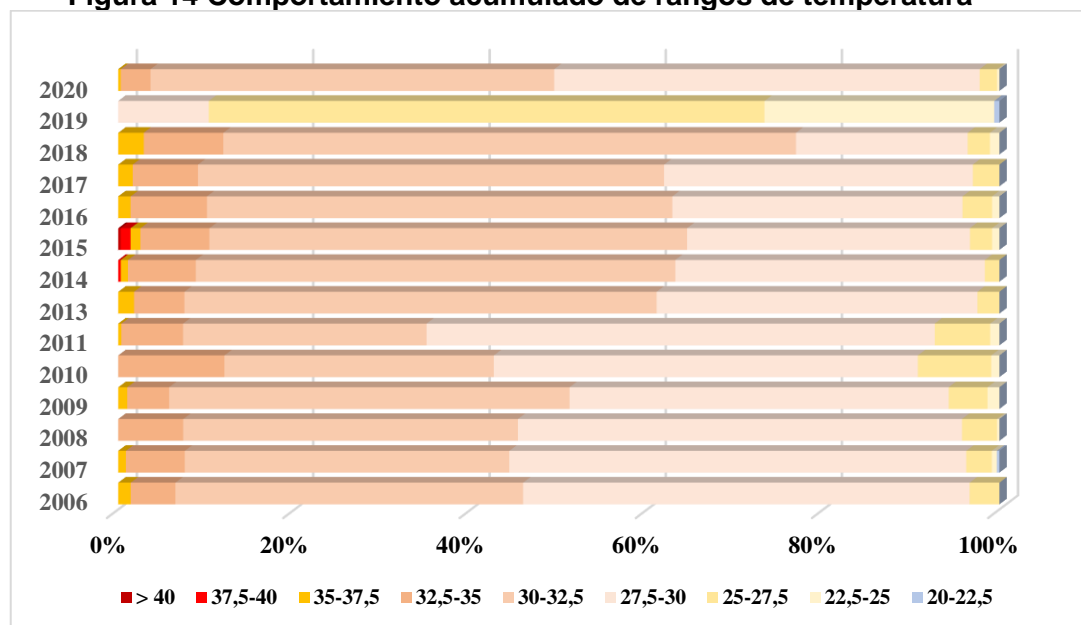
**Tabla 9 Frecuencia de temperaturas por meses en el año.**

Temperatura	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	Porcentaje	Máximo	Promedio
> 40	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	100%	1	0,1
37,5-40	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	5	0,1%	4	0,4
35-37,5	3	1	0	0	0	8	17	5	2	1	1	6	44	1,0%	17	3,7
32,5-35	15	4	3	6	15	44	41	54	38	25	21	15	281	6,3%	54	23,4
30-32,5	97	77	69	138	174	217	230	212	197	184	151	169	1915	43,1%	230	159,6
27,5-30	244	236	258	175	149	73	62	106	86	104	131	111	1735	39,0%	258	144,6
25-27,5	11	5	39	28	35	26	32	30	38	41	36	29	350	7,9%	41	29,2
22,5-25	14	4	3	3	8	9	8	12	15	14	13	7	110	2,5%	15	9,2
20-22,5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0,1%	2	0,3
Total días	386	327	372	350	381	382	391	419	376	370	353	337	4444	100%	622	370,3

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (DIMAR, 2021)

En general, se identifican que los meses de junio, julio a diciembre presentan días con temperaturas entre los 35-37,5°C. encontrándose que los meses de junio y julio a nivel histórico registran frecuencias de temperaturas más altas.

**Figura 14 Comportamiento acumulado de rangos de temperatura**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos (DIMAR, 2021)

De acuerdo con la información revisada de reportes de la IDEAM en Colombia, los fenómenos “El Niño” y “La Niña”, no son los únicos fenómenos que inciden en el comportamiento climático en Colombia, ya que existen otros sistemas a escala de variabilidad climática, tales como las ondas

intraestacionales, interacciones de océano atmosfera y la influencia directa o indirecta de frentes fríos (IDEAM, 2019). No se graficó el 2005 debido a que solo se tenían 3 registros del año.

### 8.3. Modelo analítico de temperatura

Para analizar el comportamiento de la temperatura (°C) se ajustó un modelo de serie temporal para los promedios mensuales en el periodo 2005-2020 y posteriormente se hizo su descomposición estructural para desagregar en detalle sus componentes (tendencia, estacionalidad y ruido blanco).

Antes de la construcción del modelo fue necesario imputar o estimar los datos faltantes. Se optó por un promedio móvil simple con el que se estimaron los valores de los meses en cuestión basados en los datos de los mismos meses en años anteriores:

$$\bar{y}_t = \frac{\sum_{i=1}^n y_{t-k}}{n}; k, t = 1, 2, 3, \dots, 11; t > k$$

La Tabla 10 muestra estos datos estimados, pero además usando esta fórmula, se ajustaron los datos de los meses: 2013-6, 2019-1, 2019-2, 2019-10, 2020-9, 2020-12 dado que eran datos atípicos.

**Tabla 10 Valores faltantes y atípicos ajustados para la construcción del modelo**

No.	Año	Mes	Valor estimado	No.	Año	Mes	Valor estimado
1	2007	10	27.57684	16	2012	7	28.16849
2	2007	11	27.21042	17	2012	8	27.77420
3	2010	1	27.09960	18	2012	9	27.79091
4	2010	2	27.05711	19	2012	10	27.40286
5	2010	4	27.79776	20	2012	11	27.31465
6	2010	5	27.81640	21	2012	12	27.27986
7	2010	6	28.10833	22	2013	2	27.05547
8	2011	11	27.31465	23	2013	6	28.71600
9	2011	12	27.27986	24	2018	3	27.47044
10	2012	1	27.20329	25	2018	4	27.99982

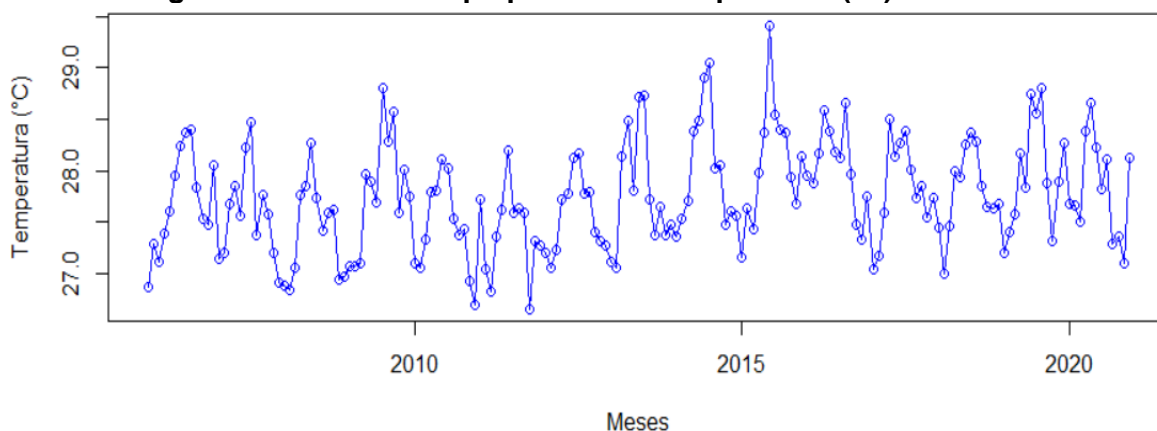
Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

No.	Año	Mes	Valor estimado	No.	Año	Mes	Valor estimado
11	2012	2	27.05547	26	2019	1	27.19813
12	2012	3	27.23177	27	2019	2	27.40313
13	2012	4	27.72425	28	2019	10	27.31967
14	2012	5	27.78289	29	2020	9	27.29580
15	2012	6	28.12250	30	2020	12	28.12667

Fuente: Elaboración propia a (DIMAR, 2021)

La Figura 15 muestra la serie de tiempo con los datos ajustados.

**Figura 15 Serie de tiempo para datos temperatura (°C)**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos (DIMAR, 2021)

La

Tabla 11 muestra los resultados de pruebas previas a la construcción del modelo: los datos se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor  $> 0.05$ ) y son estacionarios ( $p$ -valor  $< 0.05$ ), es decir que están distribuidos adecuadamente alrededor de la media y no presentan una varianza creciente a lo largo del tiempo, por lo que no es necesario el uso de transformaciones lineales para ajustarlos.

**Tabla 11 Pruebas previas a la construcción del modelo**

Prueba	Hipótesis	p-valor
Normalidad (Shapiro-Wilks)	H0: los datos se distribuyen normalmente. H1: los datos no se distribuyen normalmente.	0.1423



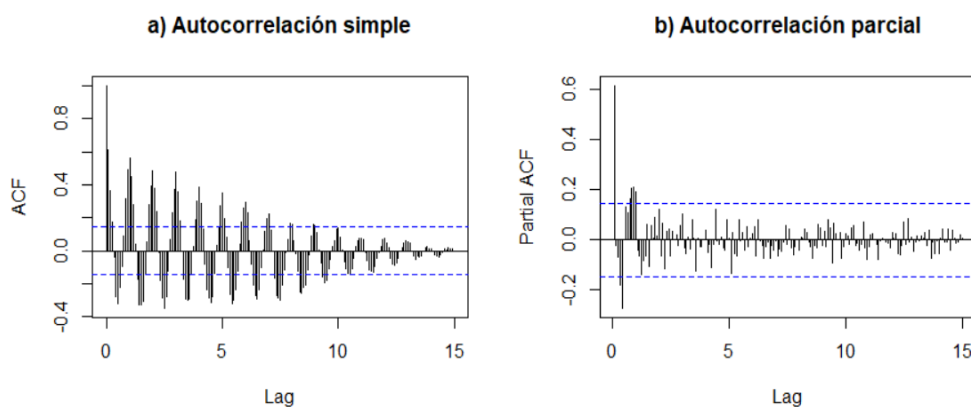
Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Estacionariedad (Dickey-Fuller)	H0: los datos no son estacionarios. H1: los datos son estacionarios.	0.0100
------------------------------------	---	--------

Fuente: Elaboración propia a partir de datos (DIMAR, 2021)

Para determinar si existe correlación entre los datos indexados en el tiempo se usó la autocorrelación simple y parcial, la primera permitió evidenciar que existe correlación significativa (líneas por fuera de las bandas de confianza) entre cada observación la serie y la que aparece dos periodos anteriores, así como la presencia de estacionalidad.

**Figura 16 Autocorrelaciones de la serie de tiempo para datos de temperatura (°C)**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la dirección (DIMAR, 2021)

El modelo que mejor ajustó los datos fue un ARIMA (3,0,1) (2,1,2) [12] con componente estacional dado que presentó los valores más bajos de las medidas de la calidad relativa: AIC = 125.17 (criterio de información de Akaike) y BIC= 153.34 (criterio de información bayesiano). Este modelo con sus coeficientes queda expresado como:

$$(1 - 0.03338 B - 0.0177 B^{12} - 0.2625 B^{24})(1 + 0.8797 B^{12} + -0.1638 B^{24})(1 - B^{12})X_t = (1 - 0.0047 B + 0.6061 B^{12})a_t$$

La Tabla 12 muestra las pruebas realizadas sobre los residuales del modelo, para ambas se obtuvo significancia estadística (p-valor > 0.05) por lo que el modelo ajusta adecuadamente los datos de temperatura (°C) medidos en la estación de monitoreo del puerto.

Tabla 12 verificación de supuestos del modelo

Prueba	Hipótesis	p-valor	Resultado
Independencia de residuos (Ljung-Box)	H0: Los residuos se distribuyen de forma independiente. H1: Los residuos no se distribuyen de forma independiente.	0.3808	No se rechaza H0, los residuos se distribuyen de forma independiente
Normalidad de residuos (Jarque-Bera)	H0: los residuos se distribuyen normalmente. H1: los residuos no se distribuyen normalmente	0.05905	No se rechaza H0, los residuos se distribuyen normalmente

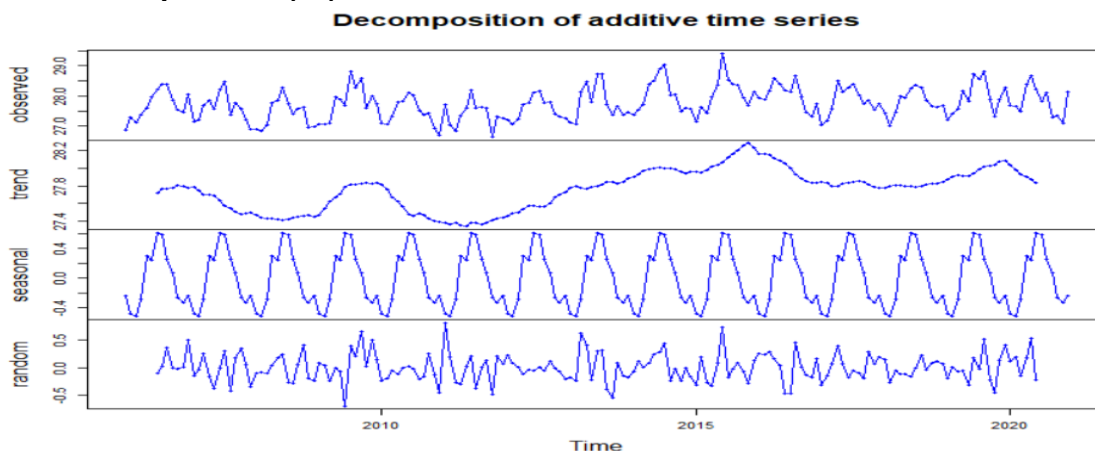
Fuente: Elaboración propia a partir de datos (DIMAR, 2021)

Por otro lado, la descomposición estructural aditiva de la serie permite evidenciar la tendencia, estacionalidad y el ruido blanco de la serie de tiempo, de la forma:

$$Y_t = T_t + S_t + \epsilon_t; \quad t = 1, 2, \dots$$

La Tabla 18 muestra la descomposición de la serie de tiempo aditiva de los datos mensuales de temperatura (°C) y se evidencia una tendencia creciente de estos.

**Figura 17 Descomposición estructural de la serie de tiempo aditiva para datos de temperatura (°C)**



Fuente: Elaboración propia a partir de (DIMAR, 2021)

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Para confirmar si existe un efecto significativo del paso de los años sobre las observaciones de temperatura (°C) medidas en esta estación de monitoreo, se presenta en la Tabla 13 un ANOVA completamente aleatorizado con factor de bloqueo para contrastar las hipótesis:

H0:  $\mu_{2005} = \mu_{2006} = \dots = \mu_{2020}$  (el promedio de las temperaturas mensuales es igual para todos años).

H1:  $\mu_{2005} \neq \mu_{2006} \neq \dots \neq \mu_{2020}$  (el promedio de las temperaturas mensuales de uno o varios años es distinto a los otros)

**Tabla 13 ANOVA para observaciones de temperatura por año**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr(>F)
Año	15	9.611	0.64073	2.723	0.0009354
Residuales	165	38.825	0.2353		

Fuente: Elaboración propia a partir (DIMAR, 2021)

Dado que el p-valor < 0.05, se rechaza H0, luego el promedio de las temperaturas (°C) mensuales de uno o varios años es distinto a los otros. La prueba de comparaciones múltiples SNK (Student-Newman-Keuls), cuyos resultados se muestran en la Tabla 15, indican que no existe diferencia significativa entre los promedios de temperatura de los años 2006, 2009 y del 2013 al 2020 (Grupo a), pero sí existe una diferencia significativa con la media de temperatura del año 2005 (Grupo b) que es la temperatura promedio más baja, las temperaturas medias de los años 2007, 2008, 2010, 2011 y 2012 (Grupo ab) no presentan diferencia significativa con los Grupos a y b.

**Tabla 14 Prueba de comparaciones múltiples de las medias anuales de temperatura (°C)**

Año	Temperatura media	Grupo
2005	26.86667	B
2006	27.77324	A
2007	27.58289	Ab
2008	27.4125	Ab
2009	27.81907	A
2010	27.43456	Ab

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Año	Temperatura media	Grupo
2011	27.40331	Ab
2012	27.57093	Ab
2013	27.8039	A
2014	28.01439	A
2015	28.08977	a
2016	28.04005	A
2017	27.83272	A
2018	27.79948	A
2019	27.97187	A
2020	27.82932	a

Fuente: Elaboración propia a partir de (DIMAR, 2021)

El aumento de la temperatura promedio desde el 2005 hasta el 2020 ha sido leve y eso es evidente en la transición de los Grupos (a, ab, b), además como también se observa en las bajas tasas porcentuales de variación de los promedios anuales (Tabla 15) que se estimaron haciendo un comparativo del promedio anual con un año de referencia (año anterior) tal como se muestra a continuación:

$$TV = \left( \frac{Y_t - Y_{t-1}}{Y_{t-1}} \right) * 100$$

**Tabla 15 Tasas de variación para los promedios anuales de temperatura (°C)**

Años comparativos	Tasa de variación
2005 - 2006	3.4%
2006 - 2007	-0.7%
2007 - 2008	-0.6%
2008 - 2009	1.5%
2009 - 2010	-1.4%
2010 - 2011	-0.1%
2011 - 2012	0.6%
2012 - 2013	0.8%
2013 - 2014	0.8%
2014 - 2015	0.3%
2015 - 2016	-0.2%
2016 - 2017	-0.7%
2017 - 2018	-0.1%
2018 - 2019	0.6%
2019 - 2020	-0.5%
2005 - 2020	3.6%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (DIMAR, 2021)

El análisis de este criterio se considera en torno a la salud de los trabajadores de Compas, ya que gran parte de la actividad portuaria se lleva a cabo en exteriores, como patios de almacenamiento, zona de operaciones de descargue y cargue, entre otros.

El estrés térmico se denomina a la presión que ejerce el calor sobre la persona expuesta a altas temperaturas. En el caso del cuerpo humano este se autorregula permitiendo conservar la temperatura basal de 37°C con  $\pm 0,5$  °C, según los individuos; sin embargo, a variaciones superiores a 39°C e inferiores a 34°C se podrían presentar daños a la salud. La hipertermia o el aumento de temperatura en el cuerpo, activa los llamados mecanismos de defensa del cuerpo; para lograr equilibrar esa temperatura interna, algunos de esos mecanismos son: Vasodilatación sanguínea, activación (permite la apertura de las glándulas sudoríparas), aumento de circulación sanguínea periférica (podría llegar a 2,6 L/m<sup>2</sup>), cambio electrolítico de sudor (la pérdida de NaCl podría llegar a 15 g/L). (Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008).

*“La medición del estrés térmico en el trabajo puede basarse en el índice WBG (temperatura de globo y de bulbo húmedo). Este índice integra la medida de la temperatura de bulbo húmedo natural (tnw) así:*

$$WBGT = 0,7 \text{ tnw} + 0,2 \text{ tg} + 0,1 \text{ ta}$$

*Donde:*

*ta = Temperatura del aire en °C; su medición se realiza con un termómetro*

*tg = Temperatura de globo en °C; “es la temperatura indicada por un sensor de temperatura situado en el centro de un globo, con las siguientes características: diámetro 150 mm, coeficiente medio de emisión 0,95 (globo negro mate).*

*r = Temperatura radiante media en °C, radiación producida por el calentamiento del sol*

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

*tnw = Temperatura de bulbo húmedo en °C, es la temperatura indicada por un termómetro, cubierto con una mecha húmeda, ventilado de forma natural” (Ávila Roque, y otros, 2016).*

Estudios recientes demuestran que los trabajadores expuesto a temperaturas iguales o mayores a 29,4°C son vulnerables a contraer enfermedades relacionadas con el aumento de temperatura; en los casos en donde la temperatura externa sea mayor al valor mencionado, es importante incorporar evaluaciones de calor ambiental que permitan implementar medidas y disminuir este riesgo (Aaron, y otros, 2018).

Para realizar un análisis de la proyección futura de la temperatura en la zona de estudio se han considerado los siguientes datos:

**Tabla 16 Cambio de temperatura media en °C**

<b>Año de proyección</b>	<b>2011-2040</b>	<b>2041-2070</b>	<b>2071-2100</b>
Sucre	0,9	1,6	2,1

Fuente: (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016)

En el corto plazo el incremento en la temperatura no representa un riesgo para la salud, exceptuando días específicos donde la temperatura alcance picos altos, y estos son considerablemente bajos ahora; significa que con el paso del tiempo se aumentarán según las proyecciones el número de días que sobrepasen la barrera de la temperatura óptima para el trabajo en exteriores.

Teniendo en cuenta lo anterior, deben incorporarse elementos que permitan un monitoreo de la temperatura y que se puedan generar alertas y así disminuir durante esos picos los riesgos asociados a la salud de los trabajadores; otro elemento que se puede incorporar son puntos de hidratación cercanos a las zonas externas y franjas verdes (árboles y/o zonas verdes) que permitan disminuir la temperatura general y generar sombra. Estudios evidencian que bajo la sombra de los árboles en un día soleado el aire es hasta 11,90°C más bajo que a pleno sol; esto varía dependiendo de las características de las especies plantadas, la densidad del follaje, el diámetro, la cantidad de individuos plantados entre otros. Fuente: (Vargas Gómez & Molina Prieto, 2014)

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Cabe resaltar que, en las zonas portuarias, cada zona es susceptible para ser visualizada para operación, ya sea como zona de almacenamiento o de operación de carga; no obstante, pueden buscarse pequeñas zonas dispuestas para siembra de árboles y zonas verdes. Otra medida puede ser que las jornadas laborales se puedan pasar de 8 a 6 horas. Se hará una comparación de costos de valor adicional por estas horas vs la implementación de rociadores.

#### 8.4. Resultados precipitación

**Tabla 17 información de frecuencia de días de lluvias y lluvias por meses años 2006 - 2012**

Meses	2006		2007		2008		2009		2010		2011		2012	
	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia
Enero	29	2	31	0	31	0	30	1	2		30	1		
Febrero	23	5	26	3	29	0	28	0			25	3		
Marzo	29	2	31	0	31	0	31	0	2		27	4		
Abril	29	1	22	8	25	5	26		1		21	9		
Mayo	17	14	27	4	22	7	26	5			14	17		
Junio	12	18	26	4	19	11	19	11	3	1	12	18		
Julio	29	3	24	4	6	25	17	11	7	12	16	12		
Agosto	29	1	30	1	12	19	12	17	13	18	13	16		
Septiembre	18	12	29	1	15	13	18	6	8	16	16	14		
Octubre	30	1	26	3	9	22	13	13	10	6	12	11		
Noviembre	21	9	23	6	14	16	14	8	14	4			21	9
Diciembre	23	2	24	6	23	4	3		19	8			24	7
<b>Total, días año registrados</b>	<b>289</b>	<b>70</b>	<b>319</b>	<b>40</b>	<b>236</b>	<b>122</b>	<b>237</b>	<b>72</b>	<b>79</b>	<b>65</b>	<b>186</b>	<b>105</b>	<b>45</b>	<b>16</b>
<b>Promedio mensual</b>	<b>24</b>	<b>6</b>	<b>27</b>	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>19</b>	<b>11</b>	<b>23</b>	<b>8</b>
<b>Días registrados</b>	<b>359</b>		<b>359</b>		<b>358</b>		<b>309</b>		<b>144</b>		<b>291</b>		<b>61</b>	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos (DIMAR, 2021b)). La información sombreada y resaltada con verde dentro de la tabla son datos de los que no se cuentan con la medición completa del mes. Se omitió información de 2005 ya que solo se tenían dos registros.

En las Tabla 17 y Tabla 18 se registra la información mensual de días de lluvias y no lluvias registradas que datan del 2006 al 2020. Para los años 2012 y 2010 se obtuvieron menores registros pluviométricos de acuerdo con la información suministrada por la DIMAR (2006-2020), con un total de 144 días y

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

61 días respectivamente. Por lo anterior, para el análisis se tomarán meses con información completa.

A nivel general, se identifica el mes de enero, febrero y marzo como los meses más secos en promedio registran de 27 a 28 días sin lluvias. Los meses de agosto y septiembre son los meses más lluviosos con un promedio de días 13 y 14 días de lluvias respectivamente.

**Tabla 18 información de frecuencia de días de lluvias y lluvias por meses años 2006 – 2012**

Meses	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia	Sin lluvia	Con lluvia
Enero	30	1	29	2	31	0	31	0	29	2	22	9	31	0	31	0
Febrero	28	0	27	1	28	0	28	1	28	0	20		28	0	29	0
Marzo	31	0	30	1	31	0	31	0	24	7			31	0	31	0
Abril	29	1	24	6	29	1	26	4	30	0			25	5	23	7
Mayo	31	0	18	13	24	7	21	10	16	15	12	5	13	18	21	10
Junio	30	0	28	2	24	6	27		9	21	15	15	17	13	7	23
Julio	14	5	31	0	16	15	26	4	15	16	27	4	18	12	7	24
Agosto	11	13	21	10	14	17	31	0	13	18	31	0	23	8	14	17
Septiembre	18	12	13	17	18	12	30	0	13	17	30	0	11	19	5	25
Octubre	31	0	16	15	21	10	31	0	15	16	31	0	13	18	14	17
Noviembre	23	7	14	16	19	11	21	9	16	14	28		24	5	12	18
Diciembre	24	7	26	5	23	8	22	9	25	6	31	0	28	3	21	2
<b>Total, días año registrados</b>	<b>300</b>	<b>46</b>	<b>277</b>	<b>88</b>	<b>278</b>	<b>87</b>	<b>325</b>	<b>37</b>	<b>233</b>	<b>132</b>	<b>247</b>	<b>33</b>	<b>262</b>	<b>101</b>	<b>215</b>	<b>143</b>
<b>Promedio mensual</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>23</b>	<b>7</b>	<b>23</b>	<b>7</b>	<b>27</b>	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>11</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	<b>18</b>	<b>12</b>
<b>Días registrados</b>	<b>346</b>		<b>365</b>		<b>365</b>		<b>362</b>		<b>365</b>		<b>280</b>		<b>363</b>		<b>358</b>	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos (DIMAR, 2021b). La información sombreada y resaltada con verde dentro de la tabla son datos de los que no se cuentan con la medición completa del mes.

El año 2016 presentó 37 días de lluvias de un total de 362 días reportados, siendo el año más seco. En segundo lugar, se encuentra el año 2007 con 40 días de lluvias de los 359 días de registros anuales y el año 2013 que presentó 46 días de lluvias de un total de 346 días de registros climáticos<sup>9</sup>.

El año 2016, de acuerdo con el (IDEAM, 2016), inició con continuidad de eventos “El Niño”, el cual se disparó durante mayo, para junio julio las anomalías

<sup>9</sup> Los años 2009 al 2012 y el 2018 se tienen menores frecuencias de registros mensuales de precipitaciones, lo cual no es tenido en cuenta para este análisis.



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

siguieron cercanas al promedio. En relación con las lluvias, estas se mantuvieron deficitarias en gran parte del país.

Los meses de agosto, septiembre y octubre presentaron déficit de lluvias, lo anterior concuerda con el análisis del (IDEAM, 2016) en el que reportó déficit de lluvias respecto al promedio climatológico, las mayores precipitaciones se registraron en marzo con un total de 10 días y seguidamente noviembre y diciembre con un total de 9 días de lluvias cada uno.

El año 2013, presentó una continuidad de efectos del niño, pero con una tendencia hacia la neutralidad ya que se registran precipitaciones en los meses de junio, julio y agosto. En general, al igual que gran parte del territorio colombiano el sector de estudio es afectado en su régimen de precipitación por los fenómenos de “La Niña” tendiente a generar lluvias por encima de lo normal y “El Niño”, con respectivo déficit de lluvias.

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

**Tabla 19 información de frecuencia de lluvias - no lluvias por meses años 2006 - 2020**

Meses	Total, días con lluvias 2006-2020	Total, días sin lluvias 2006-2020	Promedio sin lluvias mensual	Promedio con lluvias
Enero	18	387	28	1
Febrero	13	347	27	1
Marzo	14	360	28	1
Abril	47	310	24	4
Mayo	125	262	20	10
Junio	143	248	18	11
Julio	147	253	18	11
Agosto	155	267	19	11
Septiembre	164	242	17	12
Octubre	132	272	19	9
Noviembre	132	264	19	10
Diciembre	67	316	23	5
<b>Total, días año registrados</b>	<b>1157</b>	<b>3528</b>		

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (DIMAR, 2021b).

En la Tabla 20, se encuentran los máximos valores de precipitación entre los periodos comprendidos entre los años 2005 a 2020.

**Tabla 20 Máximas precipitaciones de 2005 - 2020**

Mes	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Máxima mm/h
Enero	0,7	0	0	0,3	0	0,4			0,1	30,3	0	0	0,1	42	0	0	42
Febrero	0,7	3,2	0	0		16,3			0	1,7	0	0,2	0	0	0	0	16
Marzo	2,8	0	0	0	0	12			0	1,6	0	0	7,8		0	0	12
Mayo	15,3	497	101	38,2		55,7			0	22,7	80	49,4	106	45,6	60,7	20,8	497
Junio	27,2	27,2	80,9	37,5	7,6	35			0	9,6	29,4	0	80,1	10	46,3	20,6	81
Julio	5,8	0,8	32,2	52,3	255	29,8			9,9	0	81,5	27,3	95,4	0,7	43,9	13,3	255
Agosto	8,3	0,1	174	60,7	114	63,8			71,5	20,4	67,2	0	61,9	0	59,9	12,7	174
Septiembre	11	0,1	165	104	104	141			63,7	148	37,6	0	25,1	0	1,2	10,7	165
Octubre	74,7	12,7	105	105	127	55,6			0	31,5	71,8	0	477	26,5	14,8	41,5	477
Noviembre		20	4,7	109	58,7	4,5		33,2	34,8	81,2	47,2	54,8	69,6	34,6	5	48,1	109
Diciembre	0,3	194	27,8	12,1	0	44,1		8,9	3,5	58	27,9	57,7	8,8	0	8,4	1,3	194
Abril		0,2	26,7	7,5	0	0	172		435	11,5	29,9	0,8	0		9,9	9,6	435
<b>Total general</b>	<b>0,3</b>	<b>194</b>	<b>497</b>	<b>174</b>	<b>105</b>	<b>255</b>	<b>172</b>	<b>33</b>	<b>435</b>	<b>148</b>	<b>82</b>	<b>58</b>	<b>477</b>	<b>46</b>	<b>61</b>	<b>48</b>	<b>205</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (DIMAR, 2021b)

En relación con las máximas precipitaciones de acuerdo con (Sánchez, 2017) una lluvia ligera oscila alrededor de 0,25 mm/hora, una lluvia intensa o torrencial sobrepasa los 20 mm/hora. Mientras que una lluvia que afecta actividades y que

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

puede generar avenidas catastróficas o son excepcionalmente intensas son más de 200 mm/ en una hora. Se han registrado un total de 4 precipitaciones con características de excepcionalmente intensas ya que superan los 200 mm/h. registradas en años 2007, 2010, 2013 y 2017. El registro de precipitación más alto es de 477 mm/h generado en octubre del 2017.

#### 8.4.1. Modelo analítico de precipitación

Para analizar el comportamiento de las precipitaciones (mm), se ajustó un modelo de serie temporal para los promedios mensuales en el periodo 2005-2020 y posteriormente se hizo su descomposición estructural para desagregar en detalle sus componentes (tendencia, estacionalidad y ruido blanco).

Antes de la construcción del modelo fue necesario imputar o estimar los datos faltantes. Se optó por un promedio móvil simple con el que se estimaron los valores de los meses en cuestión basados en los datos de los mismos meses en años anteriores:

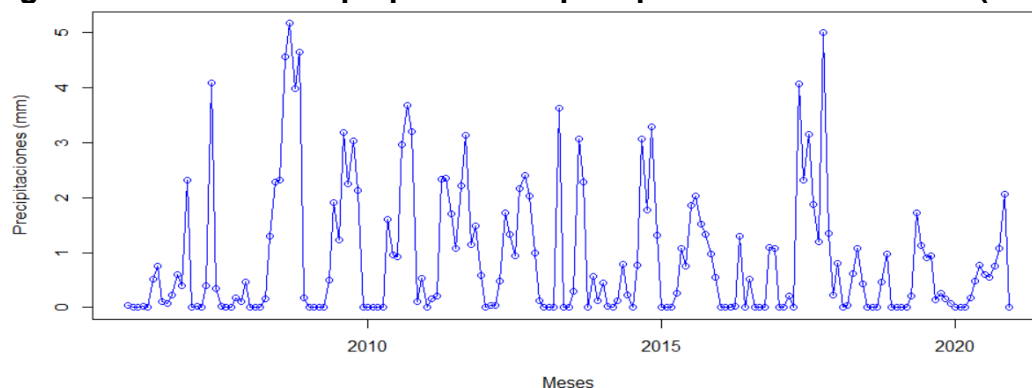
$$\bar{y}_t = \frac{\sum_{i=1}^n y_{t-k}}{n}; k, t = 1, 2, 3, \dots, 11; t > k$$

La Tabla 21 muestra estos datos estimados, pero además usando esta fórmula se ajustó el dato del mes 2010-7 dado que eran un dato atípico.

**Tabla 21 Valores faltantes y atípicos ajustados para la construcción del modelo**

No.	Año	Mes	Valor estimado	No.	Año	Mes	Valor estimado
1	2010	2	0.01116	10	2012	5	1.72287
2	2010	5	1.59777	11	2012	6	1.32708
3	2010	7	0.91885	12	2012	7	0.94439
4	2011	11	1.47699	13	2012	8	2.16035
5	2011	12	0.58780	14	2012	9	2.40843
6	2012	1	0.00215	15	2012	10	2.02195
7	2012	2	0.03475	16	2018	3	0.04071
8	2012	3	0.03858	17	2018	4	0.61544
9	2012	4	0.48097				

Fuente: Elaboración propia a partir de (DIMAR, 2021b)

**Figura 18 Serie de tiempo para datos precipitaciones mensuales (mm)**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (DIMAR, 2021b)

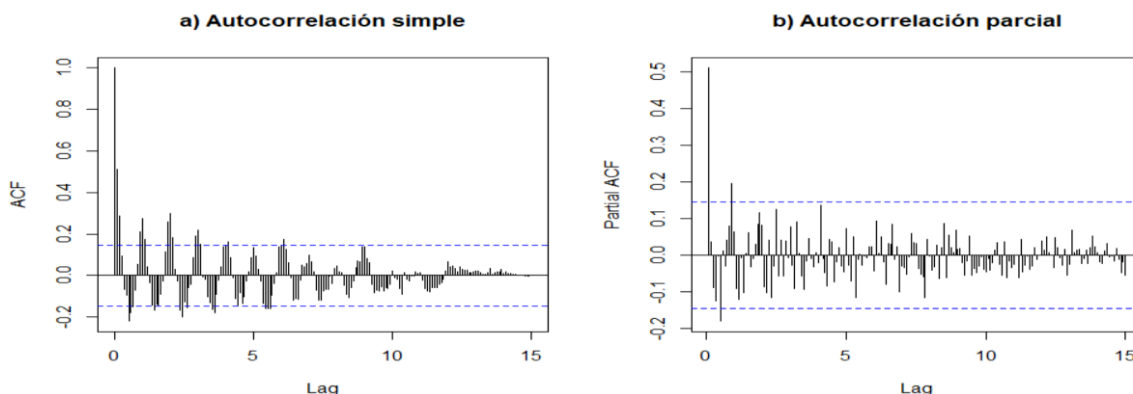
La Tabla 22 muestra los resultados de pruebas previas a la construcción del modelo: los datos de precipitaciones son estacionarios ( $p$ -valor  $< 0.05$ ), es decir que están distribuidos adecuadamente alrededor de la media y no presentan una varianza creciente a lo largo del tiempo, pero no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor  $< 0.05$ ), se propusieron varias transformaciones lineales y diferenciaciones de la serie y no fue posible un ajuste a este tipo de distribución. Sin embargo, se procedió con la construcción del modelo con el fin de identificar una aproximación al comportamiento de estos datos.

**Tabla 22 Pruebas previas a la construcción del modelo**

Prueba	Hipótesis	p-valor
Normalidad (Shapiro-Wilks)	H0: los datos se distribuyen normalmente.	$2.394 \times 10^{15}$
	H1: los datos no se distribuyen normalmente.	
Estacionariedad (Dickey-Fuller)	H0: los datos no son estacionarios.	0.0100
	H1: los datos son estacionarios.	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la (DIMAR, 2021b) Software estadístico (R Core Team, 2020).

Para determinar si existe correlación entre los datos indexados en el tiempo se usó la autocorrelación simple y parcial, la primera permitió evidenciar que existe correlación significativa (líneas por fuera de las bandas de confianza) entre cada observación la serie y la que aparece dos periodos anteriores, así como la presencia de estacionalidad Figura 19.

**Figura 19 Autocorrelaciones de la serie de tiempo para datos de precipitaciones (mm)**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (DIMAR, 2021b)

El modelo que mejor ajustó los datos fue un ARIMA (1,0,0) (0,0,2) [12] con componente estacional dado que presentó los valores más bajos de las medidas de la calidad relativa: AIC = 517.05 (criterio de información de Akaike) y BIC= 533.04 (criterio de información bayesiano). Este modelo con sus coeficientes queda expresado como:

$$(1 - 0.4771B)X_t = (1 - 0.1471 B + 0.2246 B^{12})a_t$$

La Tabla 23 muestra las pruebas realizadas sobre los residuales del modelo, se encontró que los residuos son independientes (p-valor > 0.05), pero no se distribuyen normalmente por lo que el modelo solo es una aproximación al comportamiento de los datos de precipitaciones (mm) medidos en la estación de monitoreo del puerto.

**Tabla 23 Verificación de supuestos del modelo**

Prueba	Hipótesis	p-valor	Resultado
Independencia de residuos (Ljung-Box)	<b>H0:</b> Los residuos se distribuyen de forma independiente. <b>H1:</b> Los residuos no se distribuyen de forma independiente.	0.5251	No se rechaza H0, los residuos se distribuyen de forma independiente
Normalidad de residuos (Jarque-Bera)	<b>H0:</b> los residuos se distribuyen normalmente. <b>H1:</b> los residuos no se distribuyen normalmente	2.2 × 10 <sup>16</sup>	Se rechaza H0, los residuos no se distribuyen normalmente

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (DIMAR, 2021b)

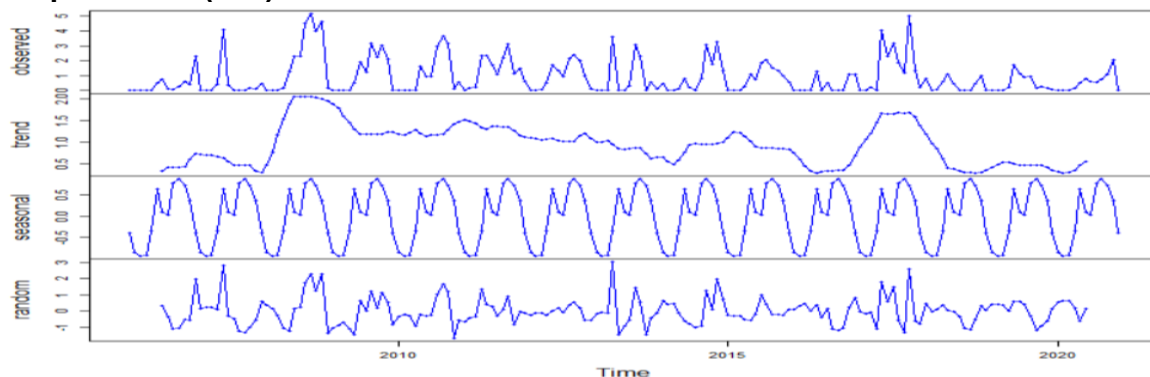
Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Por otro lado, la descomposición estructural aditiva de la serie permite evidenciar la tendencia, estacionalidad y el ruido blanco de la serie de tiempo, de la forma:

$$Y_t = T_t + S_t + \epsilon_t; \quad t = 1, 2, \dots$$

La Figura 20 muestra la descomposición de la serie de tiempo aditiva de los datos mensuales de precipitaciones (mm) y se evidencia una tendencia creciente de estos.

**Figura 20 Descomposición estructural de la serie de tiempo aditiva para datos de precipitaciones (mm)**



Fuente: Elaboración propia a partir de (DIMAR, 2021b).

La tendencia de las precipitaciones promedio mensuales es decreciente, sin embargo, para confirmar si existe un efecto significativo del paso de los años sobre estas observaciones medidas en esta estación de monitoreo, se presenta en la Tabla 24 un ANOVA completamente aleatorizado con factor de bloqueo para contrastar las hipótesis:

**H0:**  $\mu_{2005} = \mu_{2006} = \dots = \mu_{2020}$  (el promedio de las precipitaciones mensuales es igual para todos años).

**H1:**  $\mu_{2005} \neq \mu_{2006} \neq \dots \neq \mu_{2020}$  (el promedio de las precipitaciones mensuales de uno o varios años es distinto a los otros)

**Tabla 24 ANOVA para observaciones de precipitaciones por año**

Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Pr(>F)
--------------------	-------------------	----------------	---------	--------

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

<b>Año</b>	15	43.547	2.9032	2.2833	0.005826
<b>Residuales</b>	165	209.791	1.2715		

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (DIMAR, 2021b)

Dado que el p-valor  $< 0.05$ , se rechaza  $H_0$ , luego el promedio de las precipitaciones (mm) mensuales de uno o varios años es distinto a los otros. La prueba de comparaciones múltiples HSD (Student-Newman-Keuls), cuyos resultados se muestran en Tabla 24 en esta se indica que no existe diferencia significativa entre los promedios de precipitaciones de los años 2005, 2006, 2016 y 2018 (Grupo a), la media de la precipitación del año 2008 es estadísticamente diferente a todas (Grupo b), obsérvese que es la media más alta; las precipitaciones medias de los años 2007, del 2009 al 2015, 2017, 2019 y 2020 (Grupo ab) no presentan diferencia significativa con los Grupos a y b.

**Tabla 25 Prueba de comparaciones múltiples de las medias anuales de precipitaciones (mm)**

<b>Año</b>	<b>Precipitaciones medias</b>	<b>Grupo</b>
2005	0.03333333	b
2006	0.41892858	b
2007	0.47002711	ab
2008	2.04940051	a
2009	1.18560457	ab
2010	1.16117843	ab
2011	1.36422091	ab
2012	1.02080599	ab
2013	0.83100609	ab
2014	0.98560348	ab
2015	0.86325269	ab
2016	0.33296201	b
2017	1.61589158	ab
2018	0.3690281	b
2019	0.4625336	ab
2020	0.54093433	ab

Fuente: Elaboración propia a partir de (DIMAR, 2021b)

En cuanto a la tendencia, la disminución de las precipitaciones medias desde el 2005 hasta el 2020 ha sido leve y eso es evidente en la transición de los Grupos

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

(a, ab, b). El pico de precipitaciones medias se presentó en el año 2008 y en el resto de años ha sido relativamente constante estadísticamente; las tasas porcentuales de variación de los promedios anuales (Tabla 26) que se estimaron haciendo un comparativo del promedio anual con un año de referencia (año anterior) muestran grandes variaciones año a año, pero esto es debido a la volatilidad de la serie o cambios bruscos de esta de un periodo a otro, de ahí que se observen cifras negativas y positivas casi que de manera periódica.

$$TV = \left( \frac{Y_t - Y_{t-1}}{Y_{t-1}} \right) * 100$$

**Tabla 26 Tasas de variación para los promedios anuales de precipitaciones (mm)**

Años comparativos	Tasa de variación
2005 - 2006	1156.8%
2006 - 2007	12.2%
2007 - 2008	336.0%
2008 - 2009	-42.1%
2009 - 2010	-2.1%
2010 - 2011	17.5%
2011 - 2012	-25.2%
2012 - 2013	-18.6%
2013 - 2014	18.6%
2014 - 2015	-12.4%
2015 - 2016	-61.4%
2016 - 2017	385.3%
2017 - 2018	-77.2%
2018 - 2019	25.3%
2019 - 2020	17.0%
2005 - 2020	1522.8%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (DIMAR, 2021b)

Teniendo en cuenta los datos analizados y la proyección de los escenarios planteados en la tercera comunicación nacional sobre cambio climático, la cual plantea un escenario actual de 2011 al 2040 y futuros del 2021 al 2070 y del 2017 al año 2100, se observa una disminución del % de precipitación; lo cual implica una disminución en la precipitación (mm/año) Tabla 27.



Si bien esto implica que existe un mínimo riesgo acerca de los inconvenientes generados por la presencia de lluvias en la instalación portuaria, si implica mayores consumos de agua en el proceso de humectación del carbón almacenado.

**Tabla 27 % de cambio de precipitación**

<b>Año de proyección</b>	<b>2011-2040</b>	<b>2041-2070</b>	<b>2071-20100</b>
Sucre	-11,3	-13.38	-16,2

Fuente: (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016)

El municipio de Tolú no cuenta con un sistema de acueducto, el abastecimiento de aguas tanto a nivel industrial como a nivel residencial e institucional se da por el consumo de aguas subterráneas, mediante captaciones de aljibes y pozos.

En el caso de la instalación portuaria de Compas Tolú, el consumo de agua se da de pozos de aguas subterráneas, las cuales abastecen la necesidad de agua para las operaciones portuarias y el consumo de agua doméstica. El agua para consumo humano, ubicada en los distintos puntos de hidratación, es agua de botellón, con controles de calidad y fisicoquímicos que aseguran no generar molestias en la salud. Hasta el momento no se ha visto la necesidad en operación de suplir una falencia de agua, no obstante, cuando las condiciones no son suficientes, la medida de contingencia es la compra de agua en carrotanque, lo que puede representar un sobre costo para la operación.

Si bien en el caso de la operación de graneles alimenticios, no es posible llevar a cabo bajo lluvia, incluso ni siquiera poca; ya que cambia las condiciones del grano; en el caso del carbón no ocurre lo mismo, este puede ser descargado en condiciones de lluvia poca o moderada y en el caso del almacenamiento de carbón, la lluvia beneficia el control operacional relacionado con el manejo de material particulado, ya que la humedad en el mismo limita la proliferación de material particulado propio de su naturaleza.

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

**Tabla 28 Porcentaje de carga movilizada del 2015 y proyección de carga para el 2021**

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Carbón</b>	8.56%	16.35%	31.50%	41.90%	38.78%	23.43%	34.74%
<b>Carga general</b>	13.13%	13.42%	4.66%	0.10%	0.11%	0.06%	0.32%
<b>Granel comestible</b>	66.31%	51.64%	58.55%	55.17%	57.43%	76.51%	64.98
<b>Granel no comestible</b>	12.00%	18.59%	5.29%	2.83%	3.68%	0.00%	0.00%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Información suministrada por Angela García directora administrativa de operaciones Compas S.A <sup>10</sup>

Como se puede observar en la Tabla 28, el granel comestible y el carbón son las cargas predominantes en el puerto, las cuales, año tras año se hacen mayor en su operación. En la

<sup>10</sup> Fuente derivada de la intranet (no accesible públicamente) COMPAS S.A.S.

Tabla **29**, se anotan los datos del tiempo de retraso generado por concepto de lluvias en operaciones. Como se anotó, no todas las cargas son susceptibles a las lluvias, pero si es el caso para graneles alimenticios y para cemento. Estos se señalan como las cargas predominantes en algunos años, lo que significa que se atendieron otras cargas, siendo estos los predominantes en el listado de cargas afectados en esos años, por concepto de lluvias.

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

**Tabla 29 Horas retraso por lluvia /año y las cargas movilizadas del 2010 al 2020**

Año	Horas retraso/lluvia /año	Motonaves con retrasos por lluvia/año	No de motonaves con retrasos por lluvia mayores a 24 horas	Carga predominante	CARGA MOVILIZADA EN TONELADAS			
					Granel limpio	Granel industrial	Carga general	TOTAL
2010	126:36:00	22	0	Cemento		60.599	175.472	236.071
2011	53:10:00	12	0	Cemento		103.525	175.849	279.374
2012	22:10:00	5	0	Cemento		34.600	47.502	82.102
2013	43:40:00	5	1	Cemento		40.535	66.204	106.739
2014	48:22:00	8	0	Granel alimenticio	102.840	63.963	54.691	221.494
2015	96:08:00	19	0	Granel alimenticio	364.296	112.937	72.131	549.364
2016	117:13:00	20	0	Granel alimenticio	298.965	189.417	53.938	542.320
2017	217:15:00	19	4	Granel alimenticio	470.286	295.479	37.399	803.164
2018	380:04:00	23	3	Granel alimenticio	471.004	381.898	814	853.716
2019	177:55:00	16	3	Granel alimenticio	451.586	333.810	551	785.947
2020	286:33:00	22	2	Granel alimenticio	767.215	236.097	634	1.003.946

Fuente: Información interna<sup>11</sup>

Se proyecta alrededor de 320 horas de retraso por lluvias al finalizar el año 2021, los cuales afectan la operación de granel alimenticio. Es importante señalar que sólo se generan costos cada 24 horas de demoras cuantificadas por motonaves. En la

<sup>11</sup> Información suministrada por Héctor Blanco director de operaciones Compas Tolú

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Tabla **29****Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se pueden observar el número de motonaves atendidas en cada año desde el 2010 al 2020 que tuvieron retrasos por lluvia durante la operación, y de ellos cuantos tuvieron retrasos mayores a 24 horas durante la atención de cada motonave. Teniendo en cuenta lo anterior en los años anotados tan sólo el 7.6% de las motonaves que tuvieron retrasos por lluvia generaron sobrecostos para Compas.

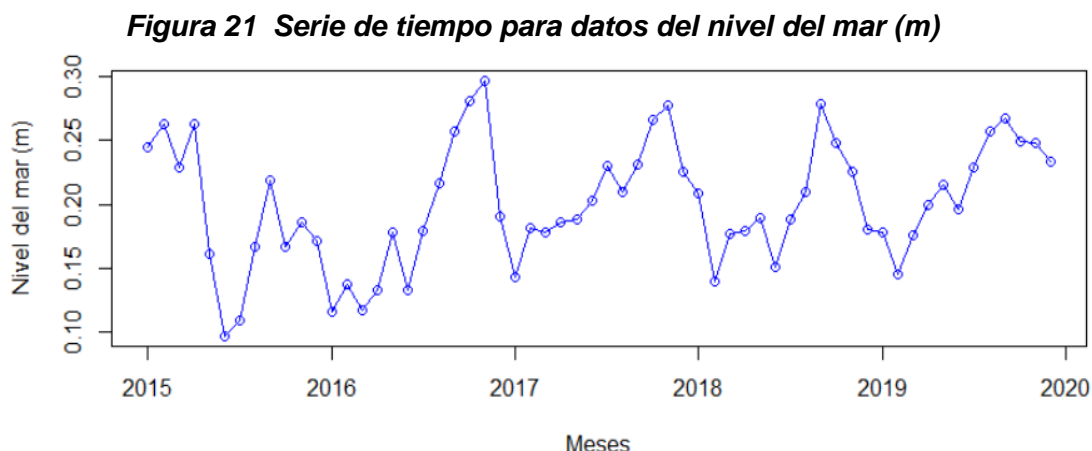
Teniendo en cuenta la proyección de lluvia (

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Tabla 19) se considera que no es relevante la afectación en costos, sin embargo, debido a la alta incertidumbre de la presencia de eventos climáticos como fenómeno de la Niña; con su incidencia del incremento en las precipitaciones, es importante generar alternativas que permitan renegociar con el cliente cuando las demoras por retrasos de lluvias exceden de manera frecuente las 24 horas (INVEMAR, PNUD, 2017).

### 8.5. Resultados Nivel del Mar

Para analizar el comportamiento del nivel del mar (m) se ajustó un modelo de serie temporal para los promedios mensuales en el periodo 2015-2019 y posteriormente se hizo su descomposición estructural para desagregar en detalle sus componentes (tendencia, estacionalidad y ruido blanco). La Figura 21 muestra la serie de tiempo.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos (DIMAR, 2021c).

La Tabla 30 muestra los resultados de pruebas previas a la construcción del modelo: los datos se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor  $> 0.05$ ) y son estacionarios ( $p$ -valor  $< 0.05$ ), es decir que están distribuidos adecuadamente alrededor de la media y no presentan una varianza creciente a lo largo del tiempo, por lo que no es necesario el uso de transformaciones lineales para ajustarlos.

**Tabla 30 Pruebas previas a la construcción del modelo**

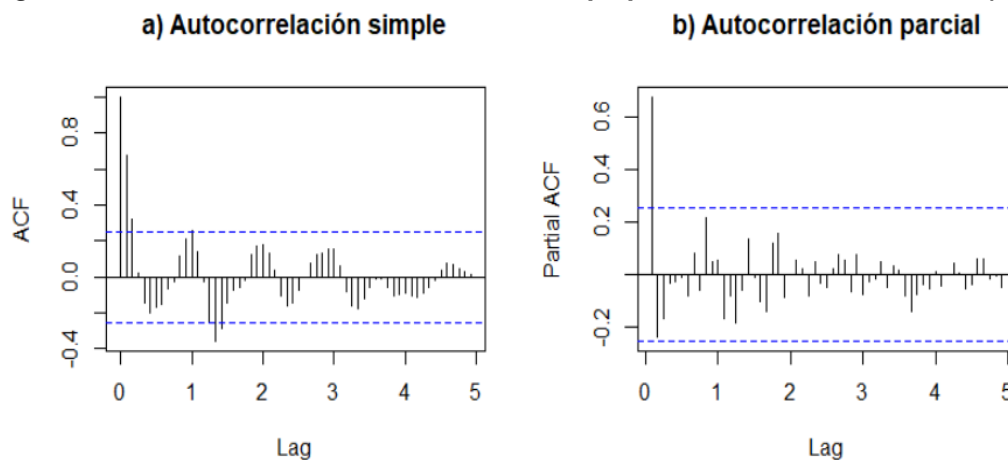
Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Prueba	Hipótesis	p-valor
Normalidad (Shapiro-Wilks)	<b>H0:</b> los datos se distribuyen normalmente. <b>H1:</b> los datos no se distribuyen normalmente.	0.5168
Estacionariedad (Dickey-Fuller)	<b>H0:</b> los datos no son estacionarios. <b>H1:</b> los datos son estacionarios.	0.0100

Fuente: Elaboración propia a partir de (DIMAR, 2021c). Software Estadístico (R Core Team, 2020)

Para determinar si existe correlación entre los datos indexados en el tiempo se usó la autocorrelación simple y parcial, la primera permitió evidenciar que existe correlación significativa (líneas por fuera de las bandas de confianza) entre cada observación la serie y la que aparece dos periodos anteriores, así como la presencia de estacionalidad.

**Figura 22 Autocorrelaciones de la serie de tiempo para datos del nivel del mar (m)**



Fuente: Elaboración propia a partir de (DIMAR, 2021c). Software Estadístico (R Core Team, 2020)

El modelo que mejor se ajustó a los datos fue un ARIMA (1,0,0) (1,0,0) [12] con componente estacional dado que presentó los valores más bajos de las medidas de la calidad relativa: AIC = -230.42 (criterio de información de Akaike) y BIC= -222.05 (criterio de información bayesiano). Este modelo con sus coeficientes queda expresado como:

$$(1 - 0.6925 B^{12})(1 - 0.3391 B^{12})X_t = a_t$$

La Tabla 31 muestra las pruebas realizadas sobre los residuales del modelo. Para ambas se obtuvo significancia estadística (p-valor > 0.05) por lo

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

que el modelo ajusta adecuadamente los datos de nivel de mar (m) medidos en la estación de monitoreo del puerto.

**Tabla 31 verificación de supuestos del modelo**

Prueba	Hipótesis	p-valor	Resultado
Independencia de residuos (Ljung-Box)	<p><b>H0:</b> Los residuos se distribuyen de forma independiente.</p> <p><b>H1:</b> Los residuos no se distribuyen de forma independiente.</p>	0.3744	No se rechaza H0, los residuos se distribuyen de forma independiente
Normalidad de residuos (Jarque-Bera)	<p><b>H0:</b> los residuos se distribuyen normalmente.</p> <p><b>H1:</b> los residuos no se distribuyen normalmente</p>	0.1174	No se rechaza H0, los residuos se distribuyen normalmente

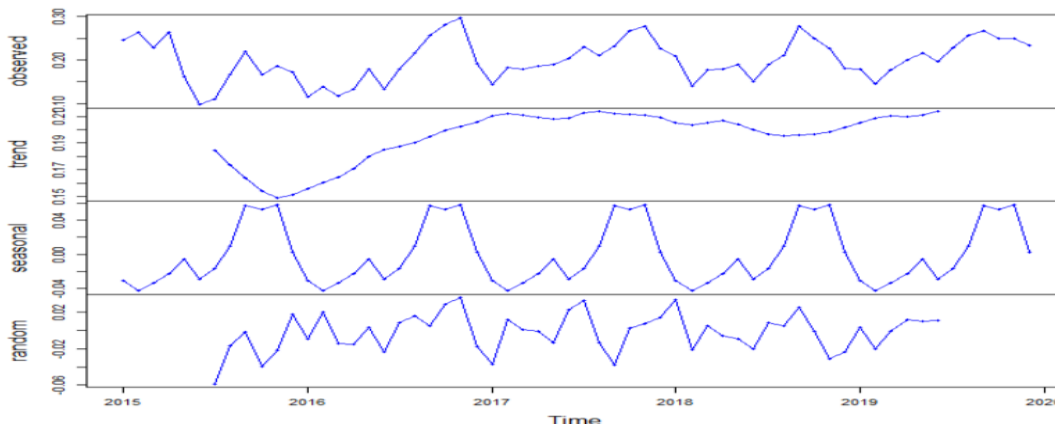
Fuente: Elaboración propia a partir de (DIMAR, 2021c). Software Estadístico (R Core Team, 2020)

Por otro lado, la descomposición estructural aditiva de la serie permite evidenciar la tendencia, estacionalidad y el ruido blanco de la serie de tiempo, de la forma:

$$Y_t = T_t + S_t + \epsilon_t; \quad t = 1, 2, \dots$$

La Figura 23 muestra la descomposición de la serie de tiempo aditiva de los datos mensuales de nivel mar (m) y se evidencia una tendencia creciente de estos.



**Figura 23 Descomposición estructural de la serie de tiempo aditiva para datos del nivel del mar (m)**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (DIMAR, 2021c).

Para confirmar si existe un efecto significativo del paso de los años sobre las observaciones del nivel del mar (m) medidas en esta estación de monitoreo, se presenta en la Tabla 32 un ANOVA completamente aleatorizado con factor de bloqueo para contrastar las hipótesis:

**H0:**  $\mu_{2015} = \mu_{2016} = \mu_{2017} = \mu_{2018} = \mu_{2019}$  (el promedio de las observaciones del nivel del mar es igual para todos años).

**H1:**  $\mu_{2015} \neq \mu_{2016} \neq \mu_{2017} \neq \mu_{2018} \neq \mu_{2019}$  (el promedio de las observaciones del nivel del mar uno o varios años es distinto a los otros)

**Tabla 32 ANOVA para observaciones del nivel del mar (m) por año**

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Vp-valor F	Pr(>F)
Año	4	0.007929	0.0019822	0.8622	0.4924
Residuales	55	0.126441	0.0022989		

Fuente: Elaboración propia a partir de (DIMAR, 2021c). Software Estadístico (R Core Team, 2020)

Dado que el p-valor  $> 0.05$ , no se rechaza H0, luego el promedio de las observaciones del nivel del mar (m) es igual para todos años, por tanto, a pesar de que la tendencia mostró un aumento en las observaciones del nivel del mar (m), en

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

términos anuales este no ha sido significativo. Esto se ve reflejado en las bajas tasas porcentuales de variación de los promedios anuales como se observa en la Tabla 33 las cuales se estimaron haciendo un comparativo del promedio anual con un año de referencia (año anterior) tal como se muestra a continuación:

$$TV = \left( \frac{Y_t - Y_{t-1}}{Y_{t-1}} \right) * 100$$

**Tabla 33 Tasas de variación para los promedios anuales de nivel del mar (m)**

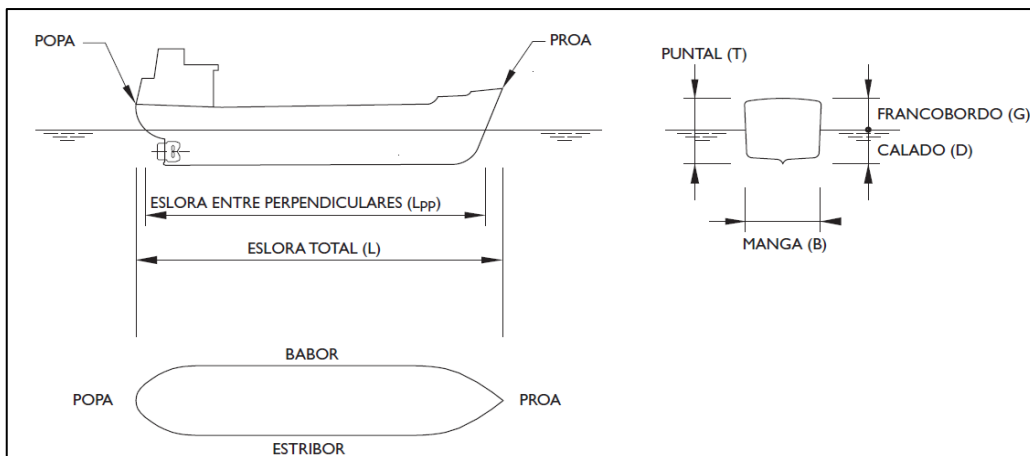
Años comparativos	Tasa de variación
2015 - 2016	-1.8%
2016 - 2017	12.8%
2017 - 2018	-5.8%
2018 - 2019	9.2%
2015 - 2019	13.9%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de (DIMAR, 2021c). Software Estadístico (R Core Team, 2020)

Con el objeto de entender el análisis de la vulnerabilidad probable dado por el crecimiento del nivel del mar ante el efecto del cambio climático, se lleva a cabo un análisis de la afectación que este cambio puede implicar para la operación portuaria en el puerto Compas Tolú, para ello es necesario entender los siguientes términos de acuerdo definidos por y relacionados en la Figura 24 (Ministerio de Fomento -Gobierno de España, 2012, pág. 384):

**Figura 24 Diagrama parámetros geométricos de capacidad y situación de carga del buque y relación entre los mismos**

## Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.



Fuente: (Ministerio de Fomento -Gobierno de España, 2012, pág. 384).

- Calado: I distancia máxima vertical entre un punto del casco sumergido de la embarcación y la línea de flotación.
- Puntal: Altura máxima del casco del buque desde la quilla hasta cubierta.
- Francobordo: Distancia vertical medida desde la línea de flotación hasta la cubierta del buque.
- Nivel 0 de marea: Nivel medio entre las mareas más bajas.
- Defensas: Diseñados generalmente en material de caucho para evitar el contacto entre el casco y el muelle de atraque; buscando evitar daños en las motonaves y en la estructura física del muelle tanto durante el arribo a muelle como durante la operación; debido al oleaje Figura 25.

*“Para el análisis de condiciones óptimas de atraque se considera que el francobordo mínimo de la línea de atraque con respecto al nivel superior la lámina de agua para asegurar condiciones de no rebose es de 1.5 m cuando la motonave tiene una capacidad de 10.000 ton o menos, cuando la motonave sea mayor el francobordo seguro será de hasta 2.50 m. Fuente: Recomendaciones para obras marítimas y ejecución en obras de atraque y amarre- Ministerio de fomento”.*  
(Ministerio de Fomento -Gobierno de España, 2012, pág. 384):

Para el caso de las motonaves manejadas en el Puerto compas Tolú de alrededor de 40.000 toneladas aplica 2.5 m.

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

**Figura 25 Francobordo de una embarcación y las defensas en el muelle Compas Tolú**



Fuente: Fotografía propia Zulady Pretel Palacios - Tomada del muelle de COMPAS S.A.S. - enero 2021.

**Tabla 34 información de mareas Tolú mes de noviembre de 2021**

Tabla de mareas de Santiago de Tolú				
Día	1ra marea	2da marea	3ra marea	4ta marea
<b>13 sáb</b>	<b>02:46</b> ▼ -0.1 m	<b>07:39</b> ▲ 0.3 m	<b>14:49</b> ▼ 0.1 m	<b>18:36</b> ▲ 0.3 m
<b>14 dom</b>	<b>03:18</b> ▼ 0 m	<b>08:20</b> ▲ 0.3 m	<b>16:13</b> ▼ 0.1 m	<b>19:32</b> ▲ 0.2 m
<b>15 lun</b>	<b>03:46</b> ▼ 0 m	<b>09:00</b> ▲ 0.3 m	<b>17:42</b> ▼ 0.1 m	<b>20:39</b> ▲ 0.2 m
<b>16 mar</b>	<b>04:06</b> ▼ 0 m	<b>09:38</b> ▲ 0.4 m	<b>19:12</b> ▼ 0.1 m	<b>22:12</b> ▲ 0.1 m
<b>17 mié</b>	<b>04:13</b> ▼ 0.1 m	<b>10:15</b> ▲ 0.4 m	<b>20:30</b> ▼ 0 m	
<b>18 jue</b>	<b>10:51</b> ▲ 0.4 m	<b>21:31</b> ▼ 0 m		
<b>19 vie</b>	<b>11:26</b> ▲ 0.4 m	<b>22:18</b> ▼ 0 m		

Fuente: (Tideschart, 2021)

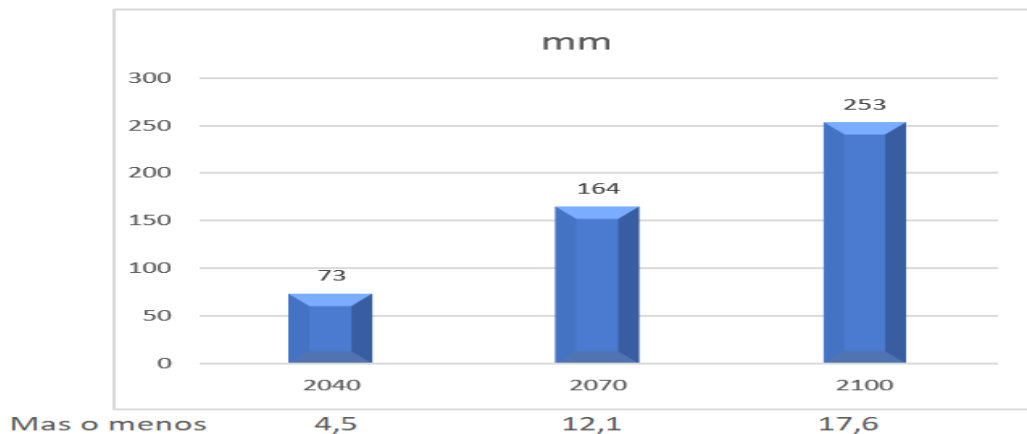
Es importante entender que existe suficiente espacio entre el nivel 0 de mareas y la altura del muelle (2.904 m); Figura 27, y que el riesgo asociado al incremento del nivel del mar a corto, mediano y largo plazo no impacta de ninguna manera la operación Figura 26 Proyección de aumento del nivel del mar en zona de estudio en mm

Se puede observar la proyección de incremento del nivel del mar para los años 2040, 2070 y 2100 que de acuerdo con los escenarios se tendría un

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

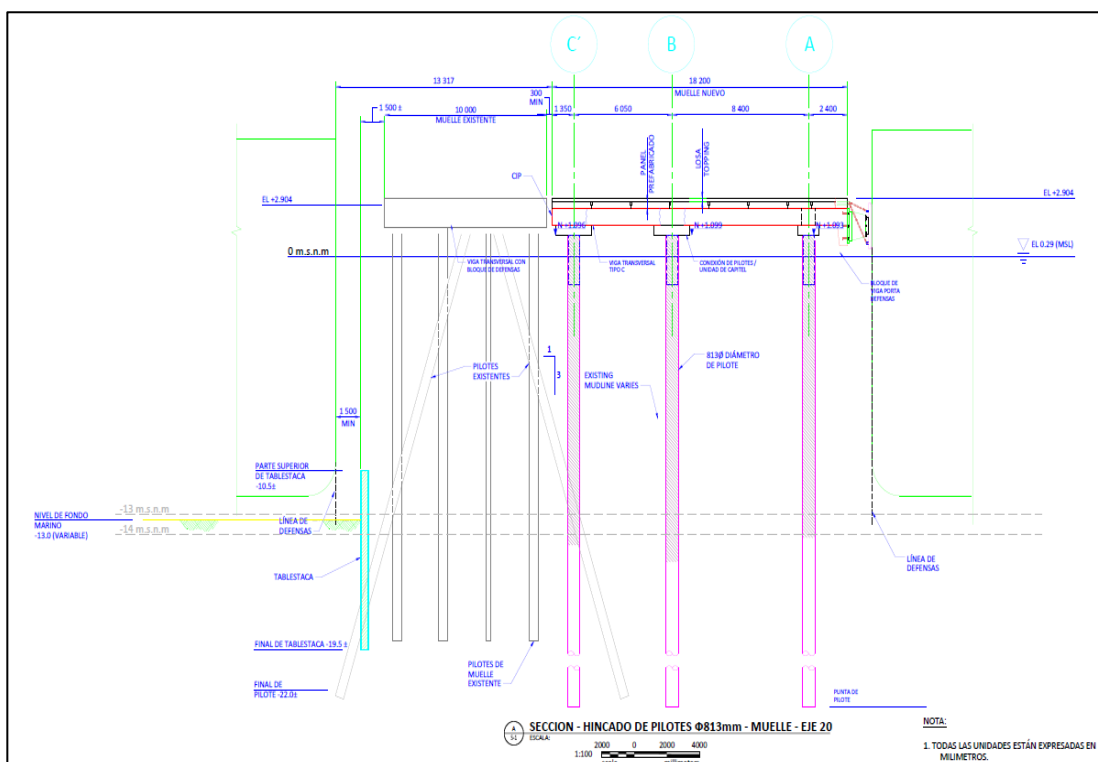
incremento de 0.073 m hasta 0.0785 m, 0.164 m hasta 0.176 m y 0.253 m hasta 0.2706 m respectivamente.

**Figura 26 Proyección de aumento del nivel del mar en zona de estudio en mm**



Fuente: (INVEMAR, PNUD, 2017).

Entendiendo que las condiciones de marea de la zona de estudio varían desde - 0,1m hasta 0,4 metros, y que la altura mínima de francobordo para operaciones seguras del puerto es de 2,5 metros el riesgo se circunscribe únicamente a condiciones de operación posteriores al año 2.100 en relación con el incremento del nivel del mar y por incidencia de marea alta (en donde el riesgo se debe considerar relevante ya que está en el límite).

**Figura 27 Sección Hincado de pilotes muelle Compas Tolú.**

Fuente: Documento interno suministrado por Gerencia de infraestructura Compas (septiembre 2021)<sup>12</sup>

En condiciones actuales de operación de motonaves y en el horizonte establecido al año 2.040 y al año 2.070; los inconvenientes operativos se pueden presentar ante la inundabilidad cuyo origen se base en eventos climáticos similares a marejadas, o un maremoto (evento con baja probabilidad de ocurrencia); en cuyo caso las operaciones portuarias son imposibles, y el riesgo de inundación no sólo se limita a la zona del muelle, si no también dependiendo de la magnitud del evento a la inundación a toda la instalación portuaria incluida sus zonas de almacenamiento.

## 8.6. Línea de playa

Línea que delimita la tierra firme y el mar; esta se ha visto afectada por las actividades que viene desarrollando los hombres en la franja litoral, los asentamientos humanos, construcción de cabañas, puertos, han generado

<sup>12</sup> Fuente derivada de documentos internos (no accesible públicamente) de COMPAS. S.A.S

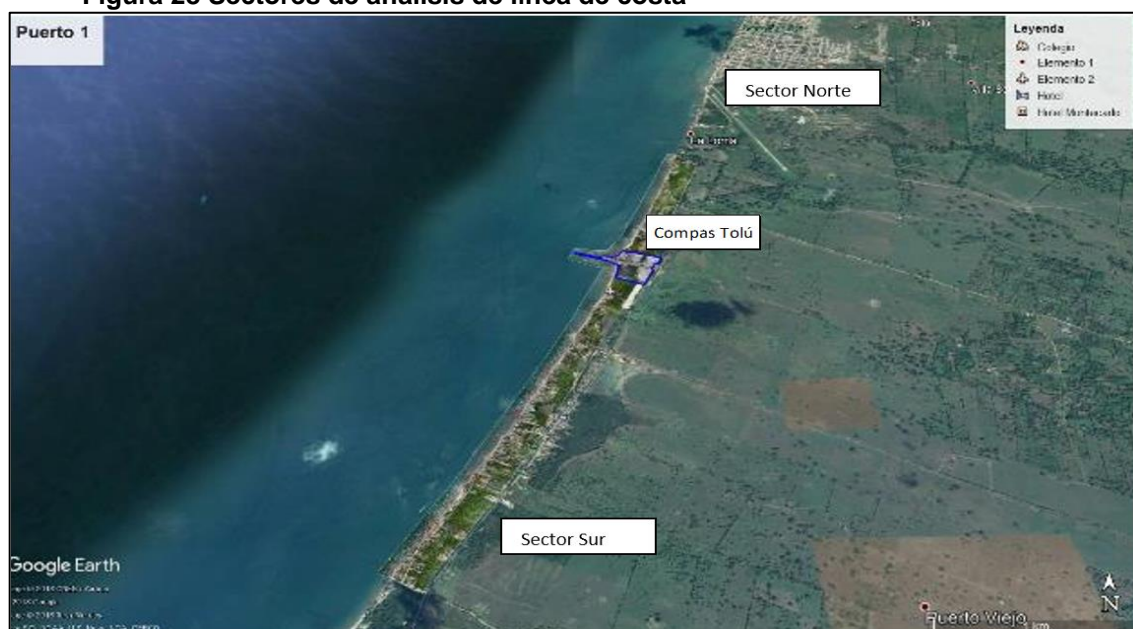
Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

modificaciones en la morfología de las playas (Invemar-Ministerio de Ambiente-Carsucre- CVS- BID, 2002). Las inundaciones, los procesos erosivos por efecto del aumento del nivel medio del mar, son las principales amenazas de los sistemas costeros en el mundo; estos además conllevan a aumento en la frecuencia de eventos extremos, sistemas con estrés costero (infraestructura como muelles, malecones, puertos) (CEPAL, 2018).

Con este análisis, se pretende documentar el comportamiento de la línea de costa del área de influencia de la instalación portuaria de Compas Tolú, para identificar cambios en las condiciones de los procesos presentes de erosión, acreción y estabilización de playas. Se precisarán posibles áreas de alto riesgo, basado en un inventario de obras de protección y estabilización de la línea de costa existente, mediante el análisis sobre el posible cambio en la línea de costa, el cual comprende una distancia de 2,5 km. Adicionalmente, se incorpora el análisis del diagnóstico de los niveles de estabilidad de las franjas (COMPAS S.A, 2018 b).

El área de análisis está en el sector oriental del golfo de Morrosquillo, en la sección de costa donde se encuentra ubicado la instalación portuaria de Compas Tolú, delimitado por las coordenadas 09° 22' 00 N, 75° 33' 00 W y 09° 45' 00 N, 75° 55' 00 W, con longitud meridional de 40 km y una profundidad promedio de 35 m (COMPAS S.A, 2018 b). La línea de costo del golfo Morrosquillo es receptora de aporte fluviales de arroyos, ciénagas y ríos como: El Medio, La Pita, Pichillín y la Perdiz, el río Sinú y la ciénaga Caimanera; que aportan sedimentos, afectando la profundidad de la plataforma del golfo y de las batimetrías de operación para el puerto (COMPAS S.A, 2018 b).

Figura 28 Sectores de análisis de línea de costa



Fuente: (COMPAS S.A, 2018 b).

*“Por lo general las acciones de la dinámica marina son responsables de los procesos de erosión, acreción y sedimentación en las costas; el oleaje por ejemplo es un fenómeno natural que produce la erosión del litoral, el cual se origina con el rompimiento de las olas contra el litoral. El mar de leva se caracteriza por un aumento del nivel del mar con un fuerte oleaje; como consecuencia genera invasión de costas bajas y una fuerte erosión; este evento no excede las 48 horas, puede presentarse hasta 4 veces en un año y puede originar retroceso de las playas, inundación hasta de 1 metro de altura, desmonte de árboles y daños en embarcaciones y viviendas ubicadas en zonas bajas”* (Invemar-Ministerio de Ambiente- Carsucre- CVS- BID, 2002).

Otro factor importante en los procesos erosivos de las costas, son los vientos; al generar modificaciones de los parámetros de olas y corrientes superficiales. El puerto de Compas Tolú se encuentra localizado en una zona de convergencia intertropical, aquí se identifican tres épocas climáticas las cuales son determinante de la intensidad y dirección de los vientos (época seca, época de transición y época húmeda). El régimen de vientos predominante para el área del golfo de Morrosquillo, son vientos Alisios del Nor - este, este es uno de los



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

factores determinadores en la Hidrodinámica de la zona (Invemar-Ministerio de Ambiente- Carsucre- CVS- BID, 2002).

### 8.6.1. Obras de protección costera en el área de estudio

Para determinar la vulnerabilidad de la línea de costa se hace importante evaluar la existencia y funcionalidad de las obras de protección o espolones existentes en el área. Estos son obras de protección costera construidos de manera perpendicular a las costas; con el objeto de disminuir el transporte longitudinal de sedimentos (Rodríguez Rivera, Rubio Maury, & Martínez Escoria, 2006, pág. 112). En la Tabla 35 se relacionan las obras de protección construidas en el sector.

**Tabla 35 Se relacionan las obras de protección en el sector de la línea de playa**

N.º	Características	Funcional	
		I	O
<b>Sector Norte</b>			
1	Construido en material de roca grande: 65,1x7,4 m.	X	
2	Construido en material de roca grande: 73,4x9,7 m.	X	
3	Construido en material de roca grande: 56x7,9 m.	X	
4	Construido en material de roca grande, se encuentra en la boca de la ciénaga: 26,4x4,9 m.	X	
5, 6, 7, 8 y 9	Espolones muy cortos, material de rocas pequeño, con distancia o entre ellos muy corta		X
10	Construido en material de roca grande: 26,4x6,8 m.	X	
11	Espolón de corta longitud, material de rocas muy pequeño		X
12	Construido en material de roca grande: 43,2x6,0 m.	X	
13	Construido en material de roca grande: 37,0x6,0 m.	X	
14	Construido en material de roca grande: 37,7x6,4 m.	X	
15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22	Espolones pequeños, construido con material de rocas muy pequeño y no cumplen las distancias de separación requeridas		X
23	Construido en material de roca grande: 42,3x6,6 m.	X	
24	Construido en material de roca grande: 37,4x6,8 m.	X	
<b>Sector Sur</b>			
25	Construido en material de roca grande: 40,9x4,8 m.	X	
27	Construido en material de roca grande: 32,4x6,4 m.	X	
28	Construido en material de roca grande: 36,8x6,4 m.	X	

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

N.º	Características	Funcional	
		I	O
29 y 30	Espolones muy cortos, el material de rocas es pequeño y la distancia entre ellos es muy corta		X
31	Construido en material de roca grande: 43,0x4,1 m.	X	
32	Espolón de mediana longitud, material de rocas grandes: 50,2x4,9	X	
33	Construido en material de roca grande: 43,1x4,9 m.	X	
34	Construido en material de roca grande: 46,2x5,0 m.	X	
35	Construido en material de roca grande: 44,6x6,4 m.	X	
36	Construido en material de roca grande: 44,6x6,4 m.	X	
37	Construido en material de roca grande: 46,0x5,8 m.	X	
38	Construido en material de roca grande: 37,4x6,2 m.	X	
39 y 40	Espolones muy cortos, material de rocas pequeño y la distancia entre ellos es muy corta		X
41	Construido en material de roca grande: 32,5x7,8 m.	X	

Fuente: (COMPAS S.A, 2018 b) ).

De acuerdo con la información de la Tabla 35, hay en el sector norte 24 estructuras de protección, de las cuales 14 de ellas no representan protección alguna, tan solo 10 son funcionales. En el sector sur se identificaron 17 estructuras de protección, de diversas dimensiones y longitudes; siendo 5 de ellas muy cortas sin efectos de protección para la costa, las 12 estructuras restantes son funcionales. (COMPAS S.A, 2018 b).

### 8.6.2. Análisis Multitemporal

Al analizar las posibles amenazas que pueden originarse como una modificación en la línea de costa o línea de playa en la zona de estudio, y las obras de protección costera presentes en la zona y su funcionalidad, se realizó en el estudio (COMPAS S.A, 2018 b), un análisis multitemporal de la línea de playa con información de 15 años, utilizando ortofotografías y toma de datos en sitio, concluyendo lo siguiente:

#### a) Variabilidad de línea de playa zona norte:

En la zona aledaña a Compas Tolú hasta 1.000 metros aproximadamente hacia la zona norte, la franja de playa cuenta con un ancho entre 15 y 20 m, con condiciones de arenas finas y costas bajas, posteriormente la franja disminuye su

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

espesor a 8 metros aproximadamente, presentándose variación de la línea de playa generados por acreción (aumento de playa) y erosión (perdida de playa); la variación identificada en los diversos subsectores (COMPAS S.A, 2018 b).

#### **b) Variación de playa zona sur:**

*“Tiene una franja de playa de 12 m en promedio, con pequeñas variaciones de erosión principalmente y de acreción, sobre esta zona se presenta una iteración con la ciénaga de Palo Blanco. En la zona demarcada para el estudio de línea de playa se identifican 42 obras de protección costera, de las cuales tan solo 22 son funcionales; es decir el 52,38% de estas obras realmente impiden los procesos erosivos en torno a la dinámica del océano y los eventos hidrodinámicos que se dan en la zona. Estas variaciones se consideran temporales (no fijas en el tiempo), estas generan una oscilación de la línea de playa que varía entre los 4 y 5 metros” (COMPAS S.A, 2018 b).*

### **8.7. Amenazas climáticas**

El puerto de Compas Tolú por estar ubicado en el Caribe está expuesto a algunas perturbaciones o amenazas climáticas con diversos grados de intensidad; tales amenazas son vendavales, inundaciones, mar de leva. Fuente: (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016). La afectación en las costas depende no sólo de la intensidad, sino de la duración de este, además de la vulnerabilidad y probabilidad ante dicha amenaza. En algunas Islas del Caribe, el oleaje producido por los ciclones causa grandes daños debido a las falencias en las obras de protección costera; por lo que olas ingresen y destruyan a su paso (Invemar-Ministerio de Ambiente- Carsucre- CVS- BID, 2002). En la Tabla 36 se relacionan amenazas climáticas y probabilidad de ocurrencia de acuerdo con (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016).

**Tabla 36 Tipo de amenaza climática y probabilidad de ocurrencia**

<b>Amenaza</b>	<b>Descripción</b>	<b>Probabilidad de ocurrencia</b>
Huracanes	Evento con vientos fuertes, lluvias abundantes y marejadas	Muy baja

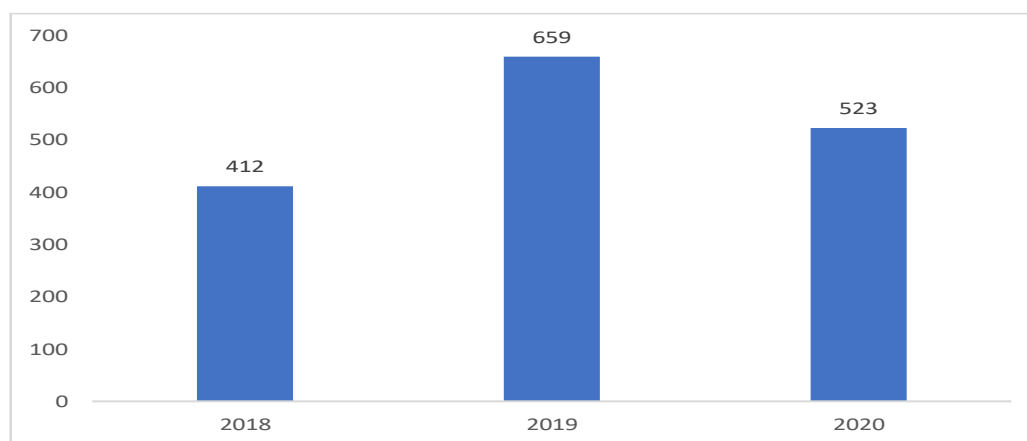
Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Amenaza	Descripción	Probabilidad de ocurrencia
Vendavales	Aumento en la velocidad de los vientos durante periodos cortos de tiempo, estos se pueden presentar durante todo el año	Alta
Sismos	Movimiento brusco de la tierra, en la zona de estudio se registró sólo un terremoto de magnitud 6.5 en la escala Richter	Baja
Mar de leva	Este evento se registra anualmente, algunos casos con mayor intensidad que otros; puede generar desarraigo de árboles, inundaciones, pérdidas de viviendas y embarcaciones, entre otros.	Media - alta

Fuente: (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016).

### 8.8. Estimación de emisiones GEI actuales y futuras del puerto

**Figura 29 Emisiones de GEI Compas Tolú – Alcances 1 y 2 (en ton CO<sub>2</sub> eq)**



Fuente: (COMPAS, 2020).

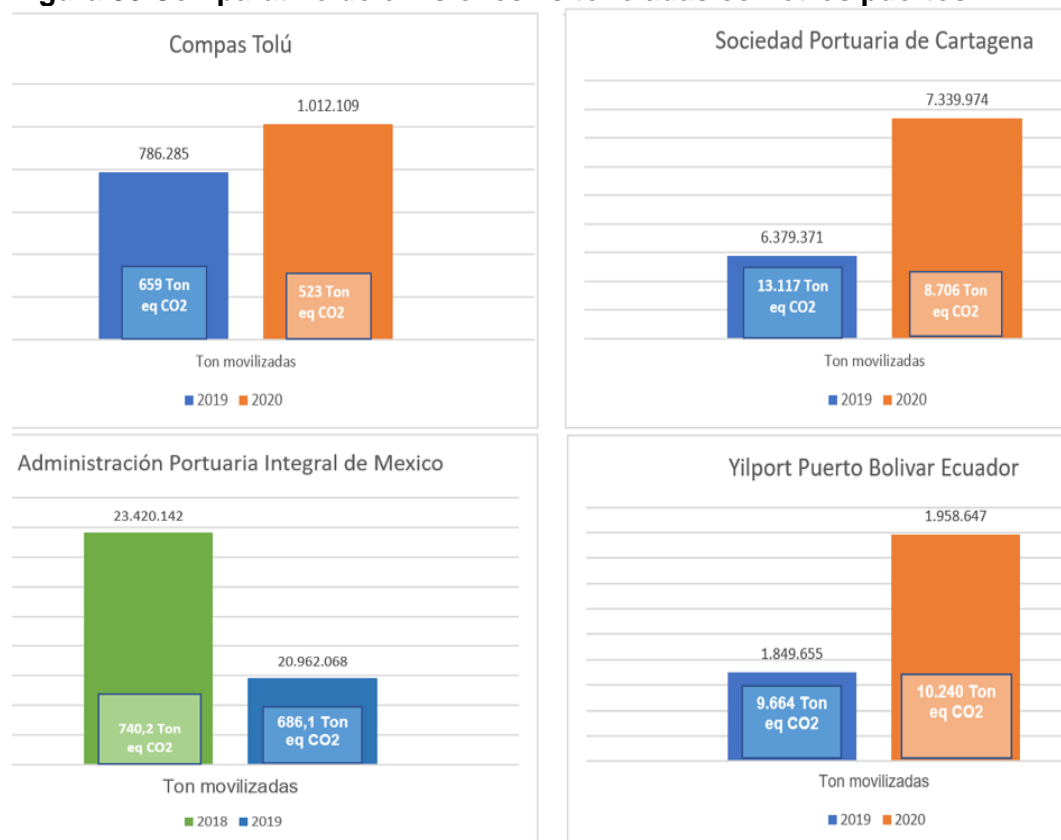
En la Figura 29, se puede observar la medición de los gases efecto invernadero de la terminal de Compas Tolú de los últimos 3 años. Cabe resaltar que sólo se vienen midiendo los alcances 1 (proviene del consumo de combustible en la gestión portuaria, grúas, equipos portuarios) y 2 (provienen del alumbrado del puerto, consumo eléctrico de oficinas, aires acondicionados, etc.). Para ello, se utilizó la metodología establecida en el GreenHouse Gas Protocol<sup>13</sup>. Esta

<sup>13</sup> EL GHG Protocol o Protocolo de GEI establece marcos estandarizados globales integrales para medir y gestionar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de las operaciones del sector público y privado, las cadenas de valor y las acciones de mitigación (GREENHOUSE GAS PROTOCOL, sf).

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

calculadora de carbono establece el uso de factores de emisión para el cálculo de la emisión de un GEI por una actividad determinada dentro del puerto. Estos factores fueron los determinados por la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME y la Agencia Internacional de Energía IEA. En algunos casos, fue necesario utilizar los valores estándar establecidos a nivel mundial debido a la ausencia de factores específicos para Colombia (COMPAS, 2020).

**Figura 30 Comparativo de emisiones vs toneladas con otros puertos**



Fuente: Elaboración propia a partir de información de (COMPAS, 2020). Sociedad Portuaria de Cartagena (Supertransporte, 2021). ( Grupo Puerto de Cartagena SPRC y CONTECAR, 2021). Administración portuaria de México (Administración Portuaria Integral de Progreso, S.A de CV, 2019) (Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2021). (Comunidad Andina, 2020). (Autoridad Portuaria de Puerto Bolivar, 2021).

En la Figura 30 se observan las Toneladas movilizadas en los puertos y las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>; es importante señalar que en general, aunque todos son puertos, el funcionamiento y el origen de sus emisiones es muy diferente, para lograr un proceso comparativo más real deberían además tenerse en cuenta el mismo tipo de cargas o carga manejada, el tipo de maquinaria utilizadas en los procesos de operación portuaria. De esta manera se explica el

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

hecho de que algunos puertos con manejo mayormente de contenedores generen una mayor cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes debido a su operación.

A esto, se le suman procesos implementados de eficiencia energética, procesos de autogeneración de energía limpia para consumo, servicios portuarios diversos, calculadoras y metodologías de cuantificación de emisiones de carbono diversas y otros elementos que pueden incidir en el proceso comparativo. No obstante, es importante observar que en todos los casos la comparación entre dos años continuos puede expresar una gestión propia de gases efecto invernadero – GEI, en este caso Compas Tolú puede demostrar haber realizado una mejor gestión ya que a pesar del incremento en más del 28% en el movimiento de carga, la generación de emisiones disminuyó en aproximadamente un 21%; un valor que demuestra un resultado positivo a la gestión interna en consumo de energía y combustibles.

## 8.9. Análisis interno

### 8.9.1. Aplicación de Matriz DOFA

Esta matriz nos permite visualizar los elementos claves con respecto a los avances que ha presentado Compas Tolú con respecto a los otros puertos en el país; a pesar del reconocimiento de ser parte de la primera red de puertos multipropósito en Colombia y de tener grandes avances en materia de sostenibilidad ambiental y en la gestión hacia la mitigación y vulnerabilidad climática existen acciones por desarrollar, inversiones

**Tabla 37 Matriz DOFA**

	<b>Debilidades</b>	<b>Oportunidades</b>	
<b>Interno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A pesar de la consciencia de la necesidad de reconocer la vulnerabilidad climática de los puertos no se percibe como una algo inmediato.</li> <li>• Las acciones de adaptabilidad se perciben costosas y eso genera ampliación de fechas impuestas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reconocimiento a nivel público y empresarial de pertenecer a la única red de puertos en Colombia.</li> <li>• Compas Tolú posee una ubicación privilegiada con importantes vías que lo comunican a los centros</li> </ul>	<b>Externo</b>

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

<p>para el cumplimiento de metas y objetivos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausencia de estudios que permitan identificar las cargas que se verán afectadas a corto y mediano plazo por el cambio climático.</li> </ul>	<p>productores de Antioquía y Cundinamarca.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• COMPAS en el año 2020, presentó un plan de proyección de crecimiento para el puerto de Tolú y del Golfo de Morrosquillo, como nuevo centro de desarrollo logístico, industrial y turístico de la Costa Caribe, y con varios proyectos de expansión vigentes.</li> <li>• Compas en el 2022 obtuvo el sello verde de verdad (Latam Green, 2022), como la primera empresa del sector portuario que obtiene este reconocimiento, gracias a las acciones en pro de la sostenibilidad ambiental y la mitigación al cambio climático.</li> </ul>
<p><b>Fortalezas</b></p>	<p><b>Amenazas</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compas ha diseñado una estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático que incluye entre otras actividades medición de huella de carbono, definición de la vulnerabilidad de los sus puertos ante el cambio climático.</li> <li>• Se han establecido objetivos, metas e indicadores para el cumplimiento de la estrategia</li> <li>• Los directivos de la Compañía son conscientes de la necesidad</li> <li>• Compas fue pionero al desarrollar la primera evaluación de vulnerabilidad climática de uno de sus puertos en el año 2010.</li> <li>• Reconocimiento del territorio, sus potencialidades y recursos.</li> <li>• Potencial humano formado y con reconocimiento del territorio sus potencialidades y sus recursos</li> <li>• Sin procesos sancionatorios por parte de las autoridades ambientales</li> <li>• Al ser multipropósito si se diera la afectación de algún tipo de carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Competencia con grandes inversiones a nivel ambiental, proyectos de autogeneración de energía y procesos de compensación de huella de carbono.</li> <li>• Acerca del cambio climático no existe una articulación por parte de las autoridades portuarias ni de transporte acerca de los avances a nivel sectorial</li> <li>• A nivel local, a pesar de la existencia una evaluación de vulnerabilidad climática de la zona de Tolú, no se han establecido los canales para delimitar acciones encaminadas a la adaptabilidad y mitigación del cambio climático en la zona.</li> </ul>

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

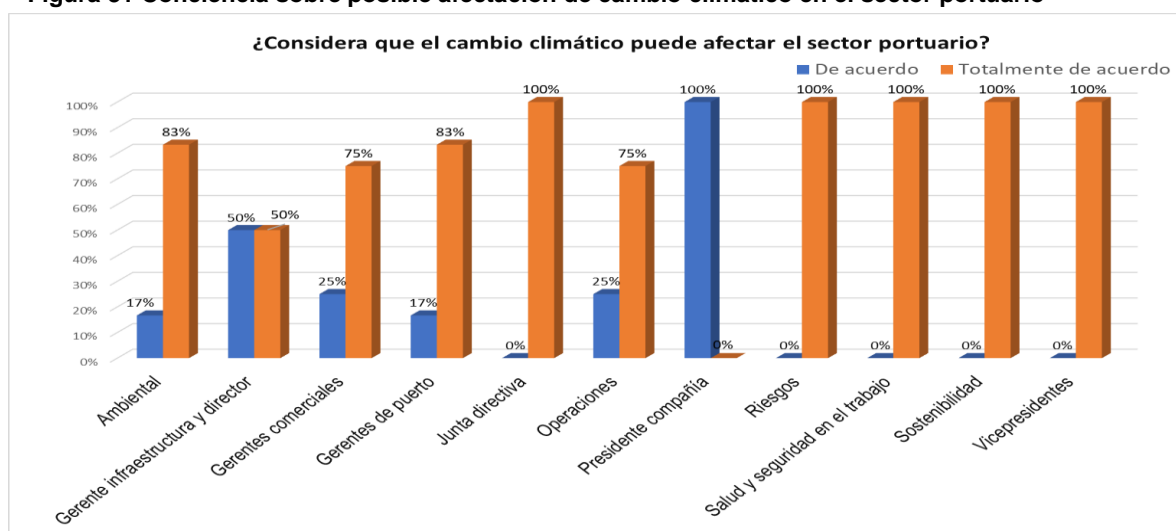
	<p>se posee infraestructura para operar otros tipos de cargas, al ser multipropósito la instalación portuaria está dispuesta para un manejo diverso de cargas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Compas viene midiendo su huella de carbono desde el 2018 y llevó a cabo en el 2021 la primera compensación ambiental del 50% de la huella de carbono generada en el 2020 (COMPAS S.A.S, 2020 b).</li> </ul>	
--	---	--

Fuente: Elaboración propia de los autores.

### 8.10. Análisis interno referente a conciencia de la vulnerabilidad del cambio climático

Se aplicó el cuestionario a un total de 37 personas de la compañía **Anexo 4** los cuales: El 100% de los entrevistados está de acuerdo o totalmente de acuerdo que los puertos pueden ser afectados por el cambio climático. Para los cargos de junta directiva, riesgo, salud y seguridad en el trabajo, sostenibilidad y vicepresidencia están totalmente de acuerdo con la posible afectación Figura 31.

**Figura 31** Conciencia sobre posible afectación de cambio climático en el sector portuario



Fuente: Elaboración propia a partir de encuesta aplicada a personal de la empresa COMPAS S.A.S.

Al indagar sobre el conocimiento de las personas encuestadas sobre temas relacionados al cambio climático (Tabla 38), se encontró que el 100% de los



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

entrevistados tiene un conocimiento del concepto de cambio climático. Así mismo, identifican las razones por las que se han presentado los cambios climáticos. En general los directivos y el personal de la empresa Compas S.A.S, conocen los conceptos del cambio climático, así como las posibles afectaciones que se puede originar en el desarrollo de la actividad portuaria, en conclusión:

- Identifican amenazas asociadas al cambio climático, que pueden afectar las comunidades de las zonas de influencia de las instalaciones portuarias.
- Consideran la importancia de implementar programas y/o proyectos orientados a la adaptación del cambio climático.

**Tabla 38 Reconocimiento del tema**

Variable	a. ¿Reconoce el concepto de cambio climático?		b. ¿Identifica las razones que han propiciado el cambio climático?		c. ¿Conoce las implicaciones del cambio climático?	
	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Ambiental	0%	16%	3%	14%	0%	16%
Gerente infraestructura y director	3%	8%	5%	5%	3%	8%
Gerentes comerciales	5%	5%	5%	5%	3%	8%
Gerentes de puerto	0%	16%	3%	14%	3%	14%
Junta directiva	0%	5%	3%	3%	3%	3%
Operaciones	3%	8%	3%	8%	5%	5%
Presidente compañía	0%	3%	3%	0%	3%	0%
Riesgos	0%	8%	3%	5%	5%	3%
Salud y seguridad en el trabajo	3%	3%	3%	3%	5%	0%
Sostenibilidad	0%	8%	5%	3%	3%	5%
Vicepresidentes	3%	3%	5%	0%	5%	0%
<b>Total</b>	<b>16%</b>	<b>84%</b>	<b>41%</b>	<b>59%</b>	<b>38%</b>	<b>62%</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de encuesta aplicada a personal de la empresa COMPAS S.A.S.

## 8.11. Análisis de los Resultados

### 8.11.1. Análisis de vulnerabilidad para la infraestructura y operación portuaria frente a las amenazas climáticas actuales y futuras.

Las amenazas puntuales identificadas para llevar a cabo este análisis se centran en aumento del nivel del mar, precipitación, temperatura, línea de playa y eventos climáticos; ya que no sólo afecta la operación, la seguridad de la carga, la infraestructura portuaria y la sostenibilidad del negocio. Inicialmente se

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

selecciona la escala de probabilidad de ocurrencia del evento y la consecuencia esperada ante la materialización del evento este análisis consolidado en la tabla 39 donde se expresa el nivel de afectación de las consecuencias frente a la materialización de impactos identificados es una adaptación de la metodología descrita en el Plan de gestión del cambio climático para los puertos marítimos de Colombia (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016). En esta se define la calificación cuantitativa y cualitativa del nivel de gravedad de las consecuencias que pueden acarrear la materialización del impacto; la escala es de 2 a 10, valorando el nivel económico, ambiental, social evaluado desde la perspectiva de las comunidades de la zona de influencia directa, los trabajadores de Compas y los operadores secundarios.

**Tabla 39 Nivel de afectación de las consecuencias frente a la materialización de impactos identificados**

Valor	Afectación	Consecuencia económica	Consecuencia ambiental	Consecuencia social y/o en seguridad y salud en el trabajo trabajadores Compas
2	Muy baja	Con gastos asociados inferiores a un salario mínimo	Impacto puntual pero irrelevante en por lo menos un recurso (agua, aire, suelo, fauna, flora); sin percepción organoléptica	Sin percepción por parte de la comunidad, sin afectación a la salud de trabajadores
4	Baja	Efectos irrelevantes en las cuentas anuales del presupuesto de la instalación portuaria	Impacto puntual pero relevante en por lo menos un recurso (agua, aire, suelo, fauna, flora) con percepción organoléptica	Con percepción pero sin efecto en la comunidad, ni en la salud de los trabajadores de Compas
6	Media	Efectos notables en el presupuesto anual de la instalación portuaria, pero asumibles	Impacto es por lo menos dos recursos y activación de protocolos de emergencia y gastos asociados de muy bajos a medios	Con efectos en la comunidad y/o en la salud de los trabajadores de Compas; con plan de acción ejecutable sin efectos notables en el presupuesto anual de la instalación portuaria
8	Alta	Costos relevantes que deben ser asociados al CAPEX u OPEX de la instalación portuaria	Impacto en mas de dos recursos, cuyo proceso de mejora implica reconstrucción de estructuras como PTAR, tanques, canales y demás obras hidráulicas	Con efectos en la comunidad y/o en la salud de los trabajadores de Compas, con exposición a medios locales y plan de acción con costos relevantes asociados a CAPEX u OPEX
10	Grave	Las efectos económicas exigen el cierre o renovación total de la instalación portuaria	Impactos que implican procesos de reversión ambiental, compensación, autos, resoluciones u otros instrumentos ambientales generados por autoridad ambiental con obligaciones impuestas	Revaluación de planes de manejo social, incorporación de nuevas medidas, procesos compensatorio sociales, además de plan de acción con costos relevantes asociados a CAPEX u OPEX

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Fuente: Elaboración propia a partir de información (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016).

La Tabla 40, identifica y categoriza la afectación para la probabilidad o posibilidad de que se presente el riesgo y la consecuencia ante la materialización de este. Además, describe el nivel catalogado del IRCE o índice de riesgo climático empresarial.

**Tabla 40 Escala de afectación para la Probabilidad y la consecuencia**

<b>Probabilidad de ocurrencia PO</b>	Muy baja	Baja	Media	Alta	Grave
	1	2	3	4	5
<b>Consecuencia esperada CE</b>	Muy baja	Baja	Media	Alta	Grave
	2	4	6	8	10
<b>Índice de riesgo climático IRC</b>	Muy bajo	Bajo	Media	Alta	Crítico
	2	$\geq 4 \leq 8$	$\geq 10 \leq 16$	$\geq 18 \leq 30$	$\geq 32 \leq 50$

Fuente: Elaboración propia a partir de información (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016)

La Tabla 41 muestra cuantitativamente la magnitud del riesgo expuesto ante la posibilidad de que se presente y el daño que podría causar la materialización del riesgo, y muestra una escala de valores que precisan o no intervención dependiendo de la exposición a los riesgos y amenazas enunciadas.

**Tabla 41 Magnitud del IRCE Índice de riesgo climático empresarial**

<b>Probabilidad</b>	<b>Grave</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
	<b>Alta</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>32</b>	<b>40</b>
	<b>Media</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>30</b>
	<b>Baja</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>20</b>
	<b>Muy baja</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
		<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	
		<b>Muy baja</b>	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>	<b>Grave</b>	
		<b>Consecuencia</b>					

Fuente: Elaboración propia a partir de información (Minambiente; Invemar; Mintransporte, 2016)

En la Tabla 42, se observa la selección preliminar tenida en cuenta de las actividades con posible afectación ante las amenazas generadas ante el cambio climático.

**Tabla 42 Definición de actividades susceptibles de afectar la Operación**

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Actividad	Descripción
<b>Demanda</b>	<p>Compas Tolú como puerto multipropósito maneja cargas de proyectos, carbón, graneles industriales (carbón, minerales, yeso, entre otros) y graneles comestibles (maíz, trigo, torta de soya; primordialmente el utilizado para producir alimento para animales), siendo este último la carga más representativa en los últimos años; en el 2019 del total de carga movilizada el 57% fue de granel alimenticio y en el 2020 la participación de esta carga aumentó al 76% (COMPAS, 2020) (Compas, 2021 a).</p> <p>En un principio cabe señalar que el análisis de la demanda se lleva a cabo sobre este tipo de productos en particular por su mayor representatividad dentro de la operación, y su análisis no corresponde a los cambios de temperatura en el sitio de estudio; teniendo en cuenta que los graneles comestibles se importan este análisis recae en las proyecciones de cambio de temperatura, precipitaciones, y eventos climáticos donde se producen.</p> <p>Se han observado modelaciones que demuestran afectación negativa hacia los cultivos de algunos cereales por los efectos de cambio climático; reflejándose en sus procesos de producción y el incremento de los costos disminuyendo así la demanda de estos. (Gerald, y otros, actualizado 2009)</p>
<b>Navegación y atraque</b>	Las condiciones de navegación y atraque podrían verse afectadas ante diversos riesgos asociados a cambio climático; impidiendo el normal desarrollo de la operación o generando retrasos en la misma.
<b>Manejo de carga</b>	La presencia o aumento de ciertas condiciones climáticas podrían generar retrasos en la operación de diversos tipos de carga, como por ejemplo el granel alimenticio no puede mojarse y por ello no se descarga durante la lluvia.
<b>Almacenamiento de carga</b>	Las condiciones de almacenamiento de la carga podrían verse afectadas ante algunos eventos que pongan en riesgo la seguridad de esta; uno de esos casos es la inundación que podría generarse ante el aumento del nivel del mar o ante el incremento en precipitaciones y la incapacidad de la instalación portuaria de drenar las aguas lluvias en un periodo de tiempo determinado
<b>Transporte de mercancías fuera de la terminal</b>	En las operaciones de importación la salida de vehículos con carga se puede ver afectada por las condiciones de drenaje de las vías externas
<b>Transporte de mercancías interior de la terminal</b>	El transporte de mercancías puede verse alterada ante algunos cambios puntuales o constantes, sin que la instalación portuaria tenga la capacidad de asimilar esa alteración.
<b>Relacionamiento con comunidades de zona de influencia directa</b>	El relacionamiento con las comunidades de la zona de influencia, podrían verse afectadas por el entendimiento erróneo de que algunos factores son propiciados por las operaciones portuarias; adicionalmente algunas afectaciones podrían cambiar la perspectiva de las necesidades apremiantes en las comunidades y por ende las intervenciones basadas en el contexto de responsabilidad social empresarial ya delineado.

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Actividad	Descripción
<b>Seguridad, salud en el trabajo Compas y operadores secundarios</b>	Este análisis no se hace sobre todos los trabajadores. Es solamente sobre el operador que lleva a cabo sus labores en patio

Fuente: Elaboración propia a partir de toda la información analizada.

En la Tabla 43 se puede observar el índice de riesgo por cambio climático para Compas Tolú por las amenazas, aumento del nivel del mar, eventos climáticos (huracanes, tsunamis, entre otros), aumento de temperatura, alteración de línea de costa, cambios en los patrones de precipitación, bajo la siguiente fórmula

$$IRC = PO \times CE$$

**Tabla 43 Índice de riesgo empresarial por amenaza y actividades susceptibles de afectar la operación**

Actividad	Nivel del Mar			Eventos climáticos			Temperatura			Línea de costa			Precipitación		
	PO	CE	IRCNV	PO	CE	IRCEC	PO	CE	IRCT	PO	CE	IRCLC	PO	CE	IRCP
Demanda	1	2	2	2	6	12	3	8	24	1	2	2	1	2	2
Navegación y atraque	1	4	4	2	6	12	1	2	2	3	8	24	2	2	4
Manejo de carga	2	4	8	2	6	12	2	6	12	3	8	24	2	4	8
Almacenamiento de carga	1	2	2	2	2	4	2	6	12	2	4	8	1	2	2
Transporte de mercancías fuera del terminal	1	2	2	2	2	4	1	2	2	1	2	2	1	2	2
Transporte al interior del terminal	2	4	8	2	2	4	1	2	2	1	2	2	1	2	2
Relacionamiento con comunidades de zona de influencia directa	1	4	4	1	4	4	1	2	2	2	6	12	1	2	2
Seguridad y salud en el trabajo trabajadores de Compas y operadores secundarios	1	2	2	1	2	2	2	6	12	1	2	2	2	2	4

IRC Muy Bajo 1 a 2 Bajo 4 a 8 Medio 6 a 12 Alto 18 a 30 Grave 32 a 50

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis de información soporte

## Índice de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú

### 9. Plan de Intervención

Para el puerto de Tolú se propone las siguientes intervenciones relacionadas con la adaptación del cambio climático.

**Tabla 44 plan de implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático puerto de compas TOLU**

Actividad y riesgo origen	Opciones de adaptación	Selección de estrategias, medidas y acciones adaptación	Justificación de selección medida
Demanda de granel alimenticio por afectación de temperatura	<p>IMPACTlite, es conocida como una herramienta de modelación integrada de sistemas mixtos de cultivos y animales; desarrollada para obtener información de actividades agropecuarias y el análisis de sistemas de producción; permitiendo la visualización de algunos impactos del cambio climático en la producción y el consumo de alimentos, además de medidas de adaptación y mitigación, esta plataforma tiene una extensa base de datos con información de África Oriental, África Occidental y el Sur de Asia (CEPAL, NDF,BID,FAO,CGIAR/CCAPS, PROGRESANE INCAP, 2018).</p> <p>Esta plataforma tiene un software que permite visualizar los posibles resultados de la implementación de estrategias de adaptación en cultivos, sistemas agropecuarios; bajo la premisa de la seguridad alimentaria y la existencia de suficiente alimento para suplir la demanda de consumo. (CEPAL,</p>	<p>Diagnóstico de cargas manejadas en el puerto y su afectación por cambio climático en el sitio de prevalencia de zona de despacho para toma de decisiones respecto a</p>	<p>La infraestructura de la instalación portuaria de Tolú está construida y consolidada en mayor parte para la operación de graneles alimenticios; la afectación a los cultivos que se pueden originar en los sitios en donde se producen dichos graneles pueden verse afectados. Es claro que Compas no puede influenciar las medidas de adaptación que involucran esos cultivos, sin embargo, si podría diagnosticar con ayuda de herramientas similares a IMPACTlite la posibilidad de la afectación de los lugares de donde provienen las cargas de graneles alimenticios.</p> <p>Con esta información se podrían conseguir clientes que importen granel alimenticio de otro lugar, otros graneles alimenticios que no se vean impactados de igual manera o se concluya adecuar la infraestructura a largo plazo hacia el manejo de otras cargas.</p>

## Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Actividad y riesgo origen	Opciones de adaptación	Selección de estrategias, medidas y acciones de adaptación	Justificación de selección medida
	NDF, BID, FAO, CGIAR/CCAPS, PROGRESANE INCAP, 2018).		
Afectación en la navegación y atraque por presencia de eventos climáticos	<p>Los planes diseñados para la atención de emergencias generadas por desastres son algo más que algo teórico; deben probarse con el objeto de evaluar y ajustar su eficiencia, son excelentes herramientas de aprendizaje y sensibilización, que permite visualizar la sinergia entre el equipo de atención y los elementos dispuestos para su atención. (Organización Panamericana de la Salud, 2010) (CEPAL, NDF, BID, FAO, CGIAR/CCAPS, PROGRESANE INCAP, 2018)</p> <p>La Autoridad Portuaria de Rotterdam generó "Estrategias de adaptación para gestión de inundaciones", consistentes en generar conciencia sobre los riesgos asociados al cambio climático; teniendo en cuenta que los escenarios que predicen un aumento en el nivel del mar entre 35 cm a 110 cm hacia el 2100 en Rotterdam y zonas cercanas. Un grupo de medida es considerado como preventivas: Implementación de medidas materiales, como elevación de barreras, zonas y estructuras de protección; Adaptación de espacios mediante la preparación de</p>	Desarrollar simulacros del Procedimiento operativo normalizado de Emergencia por fenómenos naturales contenido como anexo del RTO - Reglamento de condiciones técnicas de operación portuaria en Tolú	Si bien el puerto de Compas Tolú posee un RTO aprobado e implementado; cada uno de los PON's o procedimientos normalizados de emergencias que lo componen deben desarrollar un proceso que permita poner a prueba estos lineamientos y que tan preparada podría estar la instalación portuaria ante la materialización de fenómenos naturales probables; permitiendo el rediseño y el ajuste que permitan limitar el impacto negativo ante la presencia del evento.

## Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Actividad y riesgo origen	Opciones de adaptación	Selección de estrategias, medidas y acciones de adaptación	Justificación de selección medida
	sitios y recursos, elevación de los sistemas y lugares vulnerables y la "Impermeabilización" de edificios y bienes y finalmente el manejo de crisis, mediante el diseño de planes de emergencia, recuperación y gestión de crisis y la preparación de centros de emergencia. (PortalPortuari, 2021) (AIVP, 2021).		
Afectación en la navegación, atraque de embarcaciones y en el manejo de carga debido a los cambios de línea de costa	PUERTO DEL MUSEL (GIJÓN, ASTURIAS): Esta obra fue realizada en el 2005 y constituye una de las actividades de adaptación de protección erosiva más grandes del Puerto Musel, el conjunto de las obras de protección representa 3.797 m de dique de abrigo formado por 1.433 m (dique Torres, con tipo talud), 1.566 m (dique Norte, con tipo vertical) y 798 m de contradique • 1.365 m de muelle de 23 m de calado • 1.650 m taludes interiores en cierre explanada. Estos elementos conforman una de las actividades de adaptación para contrarrestar los principales efectos del cambio climático: aumento del nivel del mar y condiciones meteorológicas adversas, que pongan en peligro la infraestructura portuaria y el funcionamiento del Puerto. (Gonzales Collado, 2017)	<p data-bbox="892 787 1194 922">Diseño de obras de protección costera (espolones) en zona aferente al puerto</p> <p data-bbox="892 1177 1194 1242">Construcción de obras de protección costera</p>	<p data-bbox="1211 706 1808 966">Teniendo en cuenta las dos alternativas, se considera que los espolones que son el tipo de obra existente en la zona de estudio pueden seguir siendo aplicado, teniendo en cuenta un estudio previo que permita un diseño técnico, con una forma y materiales que hagan que las estructuras cumplan su función.</p> <p data-bbox="1211 1006 1808 1307">Por su parte los diques de abrigo constituyen una buena opción como estructuras de protección costera, sin embargo, cabe resaltar que debido a la forma del muelle de atraque; una estructura alargada desde la costa hacia el mar, este tipo de estructura no guardaría la mayor funcionalidad; además de que su construcción implica mayor complejidad y costos que los espolones</p>



## Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Actividad y riesgo origen	Opciones de adaptación	Selección de estrategias, medidas y acciones adaptación	Justificación de selección medida
	Los espolones o espigones son obras de protección costera construidos de manera perpendicular a las costas; con el objeto de disminuir el transporte longitudinal de sedimentos, disminuyendo la fuerza de la corriente en la playa y atrapando arenas. Fuente: (Rodríguez Rivera & Rubio Maury, 2006)		
Afectación en el manejo y almacenamiento de carga por variaciones de temperatura	La temperatura y la humedad ejercer una influencia directa sobre los graneles alimenticios; existen propiedades que determinan el comportamiento de estos graneles durante su almacenamiento: la baja conductividad térmica, absorción de agua y la porosidad de los granos. Las variaciones por fuera de los valores propios por tipo de granel implican desde infestación por insectos, presencia de hongos, germinación de granos y demás elementos que alteran la calidad del mismo (Mena Munguia, Ceballos Cardenas, & Ramírez Martínez, 2013)	Desarrollo de procedimiento operativo normalizado (PON) para el manejo de mercancías (graneles alimenticios) por tipo, ante variaciones de humedad y de temperaturas	Este es un proceso de seguimiento llevado a cabo por calidad de manera continua, con el fin de mantener condiciones de almacenamiento adecuadas sin afectar la calidad del producto, sin embargo es importante establecer un procedimiento estandarizado que disminuya los errores humanos en el manejo de estos productos, adicionalmente este procedimiento podría plantear acciones ante variaciones inesperadas de temperatura y humedad; y la implementación de actividades de contingencia que permite limitar el riesgo de pérdida del producto.
Afectación en la seguridad y salud en el trabajo por incremento de temperatura	Estudios evidencian que bajo la sombra de los árboles en un día soleado el aire es hasta 11,90°C más bajo que a pleno sol; esto varía dependiendo de las características de las especies plantadas, la densidad del follaje, el diámetro, la cantidad de individuos plantados entre	Diseño y siembra de senderos arbóreos al interior de la instalación portuaria	Cada espacio libre en las instalaciones portuarias es sujeto a ser utilizado para almacenamiento u operación de carga, no obstante, existen varias zonas o franjas para movilidad peatonal que pueden ser adecuadas además con franjas verdes o senderos de árboles que permitan tener zonas de sombra y ayuden a disminuir

## Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Actividad y riesgo origen	Opciones de adaptación	Selección de estrategias, medidas y acciones de adaptación	Justificación de selección medida
	otros. Fuente: (Vargas Gomez & Molina Prieto, 2014)		
	Estudios recientes demuestran que los trabajadores expuesto a temperaturas iguales o mayores a 29,4°C son vulnerables a contraer enfermedades relacionadas con el aumento de temperatura; en los casos en donde la temperatura externa sea mayor al valor mencionado, es importante incorporar evaluaciones de calor ambiental que permitan implementar medidas y disminuir este riesgo (Centro de control de enfermedades, 2019). Fuente: (Tustin, MD, y otros, 2018)	Instalación de puntos de hidratación en zonas de operación	La hidratación permite un mayor rendimiento laboral y lucidez; teniendo en cuenta los riesgos ocupacionales relacionados con la actividad portuaria, una hidratación adecuada podría disminuir los porcentajes de accidentalidad generados por fatiga. Es importante colocar estos puntos de hidratación al alcance de las áreas de trabajo en exteriores y así garantizar un proceso de hidratación durante la jornada laboral.
		Incorporación de medición del estrés térmico en el trabajo	Teniendo en cuenta los datos analizados en el corto plazo el incremento en la temperatura no representa un riesgo para la salud, exceptuando días específicos donde la temperatura alcance picos altos, no obstante, la variabilidad climática genera gran incertidumbre, pese a ello existen proyecciones que demuestran que con el paso del tiempo se aumentarán según las proyecciones el número de días que sobrepasen la barrera de la temperatura óptima para el trabajo en exteriores.
Diseño e implementación de procedimiento de manejo de condiciones de trabajo bajo estrés térmico	Teniendo en cuenta lo anterior deben incorporarse elementos que permitan un monitoreo de la temperatura y que se puedan generar alertas y así disminuir durante esos picos los riesgos asociados a la salud de los trabajadores		

## Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Actividad y riesgo origen	Opciones de adaptación	Selección de estrategias, medidas y acciones de adaptación	Justificación de selección medida
	Este proyecto integrado pretende convertir a Seúl en un lugar más fresco y evitar el impacto de las olas de calor en la salud humana en lugares muy concurridos, el sistema consiste en rociar microgotas de agua (20 µm) a alta presión provocando un proceso de evapotranspiración disminuyendo la temperatura del sitio en 10°C disminuyendo también el material particulado (PMs) presentes en el aire; el cual además tiene niveles de concentraciones consideradas relevantes en la ciudad. (Kim, 2021)	<p data-bbox="892 423 1194 524">Diseño de sistema de rociadores con microgotas</p> <hr/> <p data-bbox="892 659 1194 760">Construcción de sistema de rociadores con microgotas</p>	Estos sistemas pueden garantizar unas mejores condiciones de trabajo y mejorando las condiciones de rendimiento laboral para los trabajadores en exteriores, algunos de ellos expuestos a jornadas laborales completas en zonas de patios de almacenamiento de carga.

**Tabla 45 Cronograma de implementación**

Selección de estrategias, medidas y acciones adaptación	Año 2022				Año 2023				Año 2024				Año 2025				Año 2026				Costo aproximado	Indicador		
	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4				
Diagnóstico de cargas manejadas en el puerto y su afectación por cambio climático en el sitio de prevalencia de zona de despacho para toma de decisiones respecto a																							\$ 35'000.000	Diagnóstico realizado y socializado
Desarrollar simulacros del Procedimiento operativo normalizado de Emergencia por fenómenos naturales contenido como anexo del RTO - Reglamento de condiciones técnicas de operación portuaria en Tolú																							\$ 10'000.000	Llevar a cabo por lo menos un simulacro anual
Diseño de obras de protección costera (espolones) en zona aferente al puerto																							\$12'000.000	Diseño y cotización de espolones y su inclusión en capex
Construcción de obras de protección costera																							\$100'000.000	Recibido de obras funcionales al 100%

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Selección de estrategias, medidas y acciones adaptación	Año 2022				Año 2023				Año 2024				Año 2025				Año 2026				Costo aproximado	Indicador		
	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4				
Desarrollo de procedimiento operativo normalizado (PON) para el manejo de mercancías (graneles alimenticios) por tipo, ante variaciones de humedad y de temperaturas																						\$ 12'000.000	Documento desarrollado y socializado (a replicar en los otros puertos de la Compañía)	
Diseño de plan de adaptación ante el cambio climático para comunidades del área directa de la terminal																							\$ 45'000.000	Diseño, socialización de medidas ante autoridades de riesgos locales y líderes de la comunidad
Diseño y siembra de senderos arbóreos al interior de la instalación portuaria																							\$ 6'000.000	Siembra de por lo menos 2 senderos de 50 plántulas cada uno
Instalación de puntos de hidratación en zonas de operación																							\$ 4'000.000	Instalación de por lo menos 3 puntos de hidratación

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Selección de estrategias, medidas y acciones adaptación	Año 2022				Año 2023				Año 2024				Año 2025				Año 2026				Costo aproximado	Indicador	
	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4			
Incorporación de medición del estrés térmico en el trabajo																						\$ 10'000.000	Medición mensual del indicador (a replicar en los otros puertos de la Compañía)
Diseño e implementación de procedimiento de manejo de condiciones de trabajo bajo estrés térmico																						\$ 5'500.000	Documento desarrollado y socializado (a replicar en los otros puertos de la Compañía)
Diseño de sistema de rociadores con microgotas																						\$ 25'000.000	Diseño y cotización de sistema y su inclusión en Capex
Construcción de sistema de rociadores con microgotas																						\$150'000.000	Instalación del sistema con por lo menos dos puntos de salida
<b>Subtotal por año</b>	\$ 2.000.000				\$ 55.500.000				\$ 33.000.000				\$ 127.000.000				\$ 197.000.000				<b>\$ 414.500.000</b>		

Fuente: Elaboración propia de los autores.

## **10. Conclusiones y Recomendaciones**

A continuación, se presentan las conclusiones de la intervención desarrollada en el Puerto de Compas S.A.S Tolú, así como las recomendaciones para la implementación del plan de intervención propuesto.

### **10.1. Conclusiones**

Los riesgos, grado de exposición a los mismos y la sensibilidad asociados a los cambios climáticos en los puertos deben diagnosticarse; para con ello establecer mecanismos que disminuyan los inconvenientes asociados a estos y la probabilidad de la materialización de dichos riesgos. Esto asegura la sostenibilidad del negocio y con ello la preservación del entorno asociado, de la infraestructura portuaria y la prevalencia de los beneficios sociales que implica la generación de fuentes de empleo para la comunidad local y cercana.

Los referentes nacionales e internacionales de adaptación al cambio climático permiten tener una visión real del establecimiento de alternativas para la gestión de diversos riesgos relacionados; estas experiencias definen la línea base sobre la cual se pueden plantear soluciones inherentes al riesgo, incluso permiten plantear modificaciones que se ajusten a una realidad diferente acorde con el Puerto de Compas Tolú. Las medidas finalmente adoptadas son una fusión de varias alternativas ya que al dar respuesta a un problema que permea diversas actividades; las soluciones planteadas también, al igual que el tiempo de ejecución de las mismas.

La formulación de acciones y medidas de adaptación al cambio climático para los puertos deben estar alineadas, con la política, objetivos estratégicos, visión y misión de la Compañía; sin ellos, es difícil procurar el cumplimiento de dichas medidas planteadas. Las acciones enmarcadas en el contexto de adaptación climática portuaria implican recursos económicos, técnicos y humanos planificados; para la sinergia de los mismos se requieren procesos planificados y asertivos que sin un aval de la alta dirección no podrían ser ejecutados.

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Dando respuesta a la pregunta ¿Cuál es el grado de vulnerabilidad frente al cambio climático del puerto Compas Tolú y las posibles medidas de adaptación que requiere para su sostenibilidad? Como resultado del proceso investigativo; bajo el análisis de información primaria y secundaria y el cumplimiento de los objetivos planteados, se diseñó un plan de implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático puerto de compas TOLU y un cronograma con flujo de fondos para la implementación del mismo con 10 estrategias, medidas y acciones adaptación que permitirá llevar al Puerto a lograr la sostenibilidad y adaptabilidad al cambio climático; bajo el desarrollo de medidas alineadas con la política empresarial de Compas, en un horizonte planificado a 5 años.

Por parte de Compas se ha observado gran interés en identificar el grado de vulnerabilidad no sólo para el puerto de Compas Tolú sino también para todos los otros puertos que hacen parte de la única red de puertos multipropósito de Colombia; conocedores de las ventajas estratégicas identificadas en un sector tan competitivo, además han desarrollado una estrategia de mitigación de cambio climático donde una de las actividades es la definición del grado de vulnerabilidad frente al cambio climático de todos sus puertos. De esta manera este estudio se convierte en el establecimiento procedimental para llevar a cabo este análisis en todos los puertos y realizar un proceso dinámico que permita a la compañía generar cada vez más mejoras en el proceso y consecución del objetivo.

El índice de riesgo climático empresarial para el puerto Compas Tolú es bajo para las amenazas de incremento de nivel del mar y variación en la precipitación; cabe resaltar que aunque las condiciones de proyecciones climáticas guardan cierto grado de incertidumbre, el riesgo aquí considerado no merece la pena ser gestionado ni a corto ni a mediano plazo.

El IRCEC o índice de riesgo climático empresarial para eventos climáticos es medio; pese a la existencia eventual de este tipo de amenaza suelen ser impactantes, no sólo para la infraestructura sino también para la operación



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

portuaria, por ello es importante que se gestione este riesgo a corto plazo y mediano plazo, implementando procedimientos y acciones de adaptabilidad.

Las amenazas de variación de temperatura y cambio de línea de costa presentan un alto riesgo ante los cambios climáticos con capacidad de generar impacto a la operación e infraestructura portuaria, por ellos se visualizan acciones en el corto plazo; esta calificación permite visualizar a la empresa la necesidad en la aplicación de acciones de adaptabilidad; teniendo en cuenta que en el esquema general de gestión de riesgos un riesgo considerado como “Alto” no debería ser despreciable y el diseño e incorporación de medidas de control se considera necesario

## 10.2.Recomendaciones

- Importante a la par con la implementación de medidas de adaptación el diseño y desarrollo de medidas de mitigación, la medición de huella de carbono, la compensación de huella de carbono, la generación para consumo propio de energías limpias, el desarrollo de actividades que permitan la eficiencia en el uso y consumo de recursos; deben ser pilares en el esquema de trabajo para lograr no sólo adaptarse a estos cambios si no también contribuir de alguna manera en la disminución de los impactos asociados a la actividad portuaria que impliquen una contribución al impacto climático.
- Es importante incorporar al presupuesto anual los costos asociados al plan de adaptación al cambio climático, con el objeto de cumplir los tiempos estipulados en el mismo.
- El plan especifica diversos procedimientos los cuales podrán ser aplicados de manera transversal en todos los puertos de Compas; de esta manera, aunque inicialmente se plantean para el Puerto de Compas Tolú, su planteamiento debe poder aplicarse a todas las instalaciones portuarias de la Compañía y por ello el proceso se deberá llevar a cabo una socialización y sensibilización del empleo de estos.
- Se considera relevante el incorporar procesos de sensibilización acerca de las implicaciones del cambio climático en las comunidades del área de influencia de la instalación portuaria; también de las actividades que como individuos llevamos a cabo y que de una u otra forma contribuyen a que este problema se empeore, y que acciones podemos llevar a cabo para mitigarlo (reciclaje, consumo responsable de recursos, energía limpia, economía circular, siembra de árboles, entre otros). Es importante trabajar de manera conjunta con las autoridades locales, como la Alcaldía, autoridad ambiental Carsucre, y fundaciones ambientales de la zona, con el objeto de lograr sinergias entre acciones y recursos conjuntos.
- Si bien este documento establece el proceso metodológico para lograr definir la vulnerabilidad ante los cambios climáticos del puerto de Tolú, y puede ser utilizado como base para la definición de la vulnerabilidad de los otros puertos

de la Compañía es importante tener en cuenta que las condiciones geográficas y el potencial de información soporte varia de manera significativa en cada caso, por ello no necesariamente se podrá llevar a cabo un paso a paso idéntico; es importante identificar inicialmente esas diferencias y necesidades que de una u otra forma contribuyen a la definición individual de esa vulnerabilidad.

## 11. REFERENCIAS

Decreto 345 de 1992. (s.f.). "Por el cual se reglamenta el artículo 8° de la ley 1ª

de 1991.". Recuperado el 6 de Marzo de 2021, de

[https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=79](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=79717#345)

[717#345](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=79717#345)

Grupo Puerto de Cartagena SPRC y CONTECAR. (2021). *Informe de*

*Responsabilidad Ambiental 2020- Avances en responsabilidad*

*Ambiental de SPRC y CONTECAR a traves de Huella de Carbono 2020.*

Informe técnico de sostenibilidad, Cartajena. Obtenido de

[https://drive.google.com/file/d/1eKevsMDFe5f9pQBTto4UZPm4nE8Note](https://drive.google.com/file/d/1eKevsMDFe5f9pQBTto4UZPm4nE8Noteo/view)

[o/view](https://drive.google.com/file/d/1eKevsMDFe5f9pQBTto4UZPm4nE8Noteo/view)

Organizacion Panamericana de la Salud. (2010). *Guía para el desarrollo de*

*simulaciones y simulacros de emergencia y desastres.* Panama.

Obtenido de

[https://www.paho.org/uru/dmdocuments/ER\\_Simulaciones.pdf](https://www.paho.org/uru/dmdocuments/ER_Simulaciones.pdf)

4.bp.blogspot.com. (20 de marzo de 2021). s.f. Obtenido de

[http://4.bp.blogspot.com/\\_FLXUVPLG8cU/S7FqQ2bZ4VI/AAAAAAAAAlc](http://4.bp.blogspot.com/_FLXUVPLG8cU/S7FqQ2bZ4VI/AAAAAAAAAlc)

[/bITtY1cTLiY/s1600/2010-03-28\\_233955.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_FLXUVPLG8cU/S7FqQ2bZ4VI/AAAAAAAAAlc/bITtY1cTLiY/s1600/2010-03-28_233955.jpg)

Aaron, W., Tustin, M., Brenda, L., Jacklitsch, B., Richard J, T., Arbury, S., . . .

Hodgson, M. (2018). *Evaluación de los límites de exposición ocupacional*

*para el estrés por calor en trabajadores al aire libre 2011-2016.* Estados

Unidos. doi:<http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6726a1>

Abascal, E. &. (2010). *Análisis de encuestas.* Esic editorial.

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Acciona. (2020). *Energía Renovables*. (a. -B. universal, Editor, & acciona, Productor) Recuperado el 1 de 9 de 2021, de [https://www.acciona.com/es/energias-renovables/?\\_adin=02021864894](https://www.acciona.com/es/energias-renovables/?_adin=02021864894)

Administración Portuaria Integral de Progreso, S.A de CV. (2019). *Reporte de Emisiones de Gases Efecto Invernadero 2018-2019*. Informe técnico, Progreso Coordinador General de Puertos y Marina Mercante . Recuperado el 1 de 10 de 2021, de <https://portalcip.org/wp-content/uploads/2020/05/buenas-practicas-15-REPORTE-de-GEI-API-2018-y-2019.pdf>

AIVP. (5 de marzo de 2021). *Inspiring people port cities*. Obtenido de <https://www.aivp.org/es/newsroom/la-gestion-del-riesgo-de-inundaciones-en-el-puerto-de-roterdam/>

Alcaldía de Santiago de Tolú. (sf). Recuperado el 25 de marzo de 2021, de Alcaldía Santiago de Tolú - "Tolú al Servicio de la Gente": <https://www.santiagodetolu-sucre.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

*American Psychological Association* . (2019). Recuperado el 12 de febrero de 2021

Atlas Climatológico Ideam. (1981-2010). *Ideam.gov*. Recuperado el 2021 de 9 de 1, de [http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/sucre\\_texto.pdf](http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/sucre_texto.pdf)

Autoridad Portuaria de Puerto Bolívar. (2021). *Informe de Rendición de Cuentas 2020* . Obtenido de <https://www.puertobolivar.gob.ec/wp-content/uploads/2021/06/Informe-preliminar-APPB-2020-final.pdf>

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Ávila Roque, I., Martínez García, Y., Baques Merino, R., Rodríguez Betancourt, A., López Doval, C., Sáez Larrondo, W., & González García, O. (2016). *Estrés térmico, salud y confort laboral. Apuntes sobre estrés térmico, salud y confort laboral del Instituto Nacional de Salud de los Trabajadores*. Cuba: Instituto de salud de los trabajadores . Obtenido de <https://www.paho.org/es/documentos/estres-termico-salud-confort-laboral>

Banco de la República de Colombia. (2022). *Boletín de indicadores Económicos*. Banco de la República, Departamento Técnico y de información Económica del Banco de la República, Bogotá. Recuperado el 24 de 2 de 2022, de <https://www.banrep.gov.co/economia/pli/bie.pdf>

Banco Mundial. (2011). *Medidas de Adaptación al cambio climático en humedales del golfo de México*. Síntesis. Recuperado el 1 de 4 de 2020, de [https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/librohumedales\\_baja\\_julio2011.pdf](https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/librohumedales_baja_julio2011.pdf)

Banco Mundial. (2011). *Medidas de Adaptación al Cambio Climático en Humedales del Golfo de México (Síntesis)*. Preliminar- , México. Recuperado el 28 de 4 de 2021, de [https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/librohumedales\\_baja\\_julio2011.pdf](https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/librohumedales_baja_julio2011.pdf)

CAF. (2014). *Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe*. Corporación Andina de Fomento

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

(CAF) - Banco de Desarrollo de América Latina, Caracas. doi:978-980-7644-61-7

Castro, N. (2018). Riesgo Climático: Retos y Desafíos de los Puertos. *Reunión Portuaria del Istmo Centroamericano - XL REPICA*. Santo Domingo, República Dominicana. Obtenido de [http://www.cocatram.org.ni/repica/Repicas/40\\_Rd/Nicodemes\\_Castro\\_Riesgo\\_Climatico\\_REPICA%202018.pdf](http://www.cocatram.org.ni/repica/Repicas/40_Rd/Nicodemes_Castro_Riesgo_Climatico_REPICA%202018.pdf)

Cepal. (2015). *La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Naciones Unidas. Obtenido de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37310/S1420656\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37310/S1420656_es.pdf)

CEPAL. (2018). *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe - Metodologías y herramientas para la evaluación de impacto de las inundación y la erosión por efectos del cambio climático*. Técnico, Naciones Unidas, Santiago. Obtenido de [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/44096/S1800601\\_es.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/44096/S1800601_es.pdf)

CEPAL, NDF, BID, FAO, CGIAR/CCAPS, PROGRESANE INCAP. (2018). *Cambio Climático y seguridad alimentaria y nutricional en Centroamérica y la República Dominicana "Propuestas Metodológicas"*. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe), NDF (Fondo Nórdico de Desarrollo), BID (Banco Interamericano de Desarrollo), FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), CGIAR/CCAFS (Programa de Investigación. México:

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Naciones Unidas. Obtenido de

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44056/1/S1800858\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44056/1/S1800858_es.pdf)

CGF-DNP. (2016). *Guía metodológica para clasificar y medir el financiamiento asociado con acciones de mitigación y adaptación al cambio climático en Colombia*. Comité de Gestión Financiera Departameto Nacional de Planeación, Bogotá.

Chen , C., & Lui, L.-M. (1993). *Join estimation of model parameters and outlier effects in time serie*. (Journal of the American Statistical Association ed., Vol. 88).

Cleveland, R. B., Cleveland, W. S., McRae, J. E., & Terpenning, I. (1990). *A Seasonal -Trend descomposition procedure based on loes (with discussion)* (Vol. 6). (J. o. 6, Ed.)

COMPAS. (2018). *Informe de Gestión*. Recuperado el 24 de febrero de 2021, de [https://www.compas.com.co/Portals/0/Images/Sostenibilidad/COMPAS%20Informe%20de%20gestion-2018\\_web.pdf](https://www.compas.com.co/Portals/0/Images/Sostenibilidad/COMPAS%20Informe%20de%20gestion-2018_web.pdf)

COMPAS. (2019). *Informe de Gestión 2019*. Recuperado el 24 de enero de 2021, de [https://www.compas.com.co/Portals/0/COMPAS\\_InformeGestion\\_2019\\_web.pdf](https://www.compas.com.co/Portals/0/COMPAS_InformeGestion_2019_web.pdf)

COMPAS. (2020). *Informe Gestion Compas 2020*. Recuperado el 1 de septiembre de 2021, de



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

[https://www.compas.com.co/Portals/0/COMPAS\\_InformeGestion2020.pdf](https://www.compas.com.co/Portals/0/COMPAS_InformeGestion2020.pdf)

f

Compas. (12 de diciembre de 2021 a). *COMPAS*. Recuperado el 21 de febrero de 2021, de Servicios: <https://www.compas.com.co/es/servicios>

COMPAS. (08 de diciembre de 2021 b). *Compas - Terminales - Tolú*.

Recuperado el 24 de febrero de 2021, de

<https://www.compas.com.co/es/terminales/tolu>

COMPAS. (14 de diciembre de 2021c). *Compas - noticias - Tolú-se-perfila como el nuevo centro de desarrollo logístico e industrial de la costa-*

*caribe*. Recuperado el 5 de Febrero de 2021, de COMPAS-Noticias:

<https://www.compas.com.co/es/sala-de-prensa/noticias/tol250-se-perfila-como-el-nuevo-centro-de-desarrollo-log237stico-e-industrial-de-la-costa-caribe>

COMPAS. (10 de febrero de 2022 a). *COMPAS S.A.S*. Recuperado el 26 de febrero de 2021, de <https://www.compas.com.co/es/quienes-somos>

COMPAS. (15 de enero de 2022 b). *COMPAS - Etica y valores*. Recuperado el

1 de marzo de 2021, de <https://www.compas.com.co/es/Nosotros/etica-y-valores>

COMPAS S.A. (2018 b). *Hidrodinamica Costera Golfo de Morrosquillo*. Interno - No publicado, Tolu.

COMPAS S.A.S. (2020 b). *Brochure corporativo*. Compas Tolu. Recuperado el 10 de marzo de 2020, de

<https://www.compas.com.co/Portals/0/CompasBrochure2020.pdf>

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Comunidad Andina. (2020). *Informe Anual Tráfico portuario en la Comunidad*

*Andina, 2019*. Anual, Lima- peru. Obtenido de

<http://www.comunidadandina.org/DocOficialesFiles/DEstadisticos/CANTRAFICOPORTUARIO2019.pdf>

Cordis. (2012-2015). Obtenido de

<https://cordis.europa.eu/project/id/288710/reporting>

De la Cuesta Paredes, J., & Torres Morfort, F. (2017). *Estudio de energías*

*Alternativas en los Puertos - Aplicación Practica: Puerto de Valencia*.

Recuperado el 1 de 10 de 2021, de

<https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/151974/retrieve>

Díaz Calle, A., & Anzola Pinzón, d. (2018). *¿Qué componentes ecológicos,*

*económicos y sociales hacen de Maasvlakte II la expansión portuaria*

*más sostenible del mundo?* Trabajo de Grado - Misión Empresarial,

Universidad del Rosario. Obtenido de

<https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/17972/Di%CC%81azCalle-Andrea-2018.pdf?sequence=7>

DIMAR. (2021). *Serie de datos de temperatura del aire obtenidos mediante*

*estación meteorologica automatica ubicada en el Golfo de Morrosquillo*

*2013-2020*. Datos de Excel, Centro Colombiano de Datos

Oceanográficos (CECOLDO), Golfo de Morrosquillo. Obtenido de

<https://cecoldo.dimar.mil.co>

DIMAR. (2021b). *Serie de datos de precipitación acumulada obtenidos*

*mediante estación meteorológica automática ubicada el Golfo de*

*Morrosquillo 2005-2020*. Centro Colombiano de Datos Oceanográficos

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

(Cecoldo). Datos de Excel precipitación , Centro Colombiano de Datos Oceanograficos CECOLDO , Golfo de Morrosquillo. Obtenido de <https://cecoldo.dimar.mil.co>

DIMAR. (2021c). *Serie de datos de nivel del mar obtenidos mediante estación mareográfica automática ubicada en el Golfo de Morrosquillo 2013-2020. Centro Colombiano de Datos Oceanográficos (Cecoldo)*. Excel base de datos nivel del mar, Centro Colombiano de Datos Oceanográficos , Golfo de Morrosquillo. Obtenido de <https://cecoldo.dimar.mil.co>

DNP. (2012). *ABC: Adaptación Bases Conceptuales - Plan Nacional de adaptación al cambio climático* . Recuperado el 18 de marzo de 2021

DNP. (2019). *Departamento Nacional de Planeación*. (DNP, Editor) Obtenido de <https://www.ods.gov.co/es/objetivos/accion-por-el-clima>

Economic Commission for Latin America - ECLAC. (2021). *“Technologies for adapting to climate change: a case study of Korean cities and*. Santiago: Copyright © United Nations. Obtenido de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46992/1/S2100001\\_en.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46992/1/S2100001_en.pdf)

EOM. (2020). *El Orden Mundial*. (L. Vellón, Editor) Recuperado el 10 de 09 de 2021, de *l Orden Mundial en el Siglo XXI* . :

<https://elordenmundial.com/paises-bajos-nivel-mar-cambio-climatico/>

Escuela Colombiana de Ingenieria. (2008). *Temperatura protocolo*. Escuela Colombiana de Ingenieria "Julio Garavito", FACULTAD INGENIERIA INDUSTRIAL LABORATORIO DE PRODUCCIÓN. Recuperado el 22 de 11 de 2020, de

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

[https://escuelaing.s3.amazonaws.com/staging/documents/6299\\_temperatura.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAWFY3NGTFBJGCIWME&Signature=ntQ0d62Yjt8%2BOr3oSSXAzmfzLg0%3D&Expires=1650886139](https://escuelaing.s3.amazonaws.com/staging/documents/6299_temperatura.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAWFY3NGTFBJGCIWME&Signature=ntQ0d62Yjt8%2BOr3oSSXAzmfzLg0%3D&Expires=1650886139)

EUROCLIMA. (2014). *Guía Metodológica - Cambio climático y gestión del riesgo: vulnerabilidad de la infraestructura marino-costera*. Dirección General de Desarrollo y Cooperación. Bélgica.: EuropeAid, Comisión Europea. Recuperado el 1 de septiembre de 2021, de [https://euroclimaplus.org/images/ET1\\_Web.pdf](https://euroclimaplus.org/images/ET1_Web.pdf)

Figueroa Fabrega, L., Toro Delgado, M., & Gandara Puggioni, R. (2018). *Vulnerabilidad y Adaptabilidad de la Industria Portuaria de la región de Valparaíso Frente a escenarios de Cambio Climático*. Universidad Viña del Mar, Escuela de Ingeniería. Viña del Mar: Universidad viña del Mar. Recuperado el 12 de marzo de 2021, de <https://repositorio.uvm.cl/bitstream/handle/20.500.12536/304/Vulnerabilidad%20y%20adaptabilidad%20de%20la%20industria%20portuaria%20de%20la%20regi%C3%B3n%20de%20Valpara%C3%ADso%20frente%20a%20escenarios%20de%20cambios%20clim%C3%A1tico.pdf?sequence=1&isAll>

FRED R, D. (2003). *Concepto de administración estratégica*. México: PEARSON. doi:ISBN 970-26-0427-3

Fundación Valenciaport. (sf). Obtenido de <https://www.fundacion.valenciaport.com/proyecto/eclipse-evaluacion-del-cambio-climatico-en-puertos-del-sudoeste-de-europa/>

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Galindo, L. M., Samaniego, J., Alatorre, J. E., & Carbonell, J. F. (2014).

*Estudios del Cambio Climático en América: Reflexiones metodológicas*

*del análisis del Cambio Climático*. Santiago de Chile: ONU- CEPAL-

EUROCLIMA- Comisión Europea. Recuperado el 1 de Septiembre de

2021, de

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37608/1/S1500008\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37608/1/S1500008_es.pdf)

García, Arbeláez, C., Suárez, Castaño, R., Gómez, R., & Barrera, X. (2015). *El*

*ABC de los compromisos de Colombia para COP 21*. WWF -Colombia.

Gerald, C., Rosegrant, M. W., Jawoo Koo, R. R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C.,

. . . Lee, D. (actualizado 2009). *Instituto Internacional de Investigación*

*sobre Políticas Alimentarias*. IFPRI, Washington, D.C. Obtenido de

[https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf)

Global Ecoriesgo Soluciones-Finagro. (2016). *INFORME DE AVANCE -*

*Inventario de información para el diseño del seguro agropecuario*

*catastrofico en Colombia*. Informe de avance - Entregable 3, Global -

Eco Riesgo Soluciones S.A.S, Bogotá. Recuperado el 21 de marzo de

2021, de

[https://www.finagro.com.co/sites/default/files/3.\\_inventario\\_de\\_informacion.pdf](https://www.finagro.com.co/sites/default/files/3._inventario_de_informacion.pdf)

Gonzales Collado, V. E. (2017). *Análisis Socio-Economico de Medidas de*

*Adaptación Frente al Cambio Climatico en el Puerto de Musel (Gijón,*

*Asturias)* .

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

González Collado, V. (2017). *ANÁLISIS SOCIO-ECONÓMICO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PUERTO DEL MUSEL (GIJÓN, ASTURIAS)*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, Santander. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/12686/Gonzalez%20Collado.pdf?sequence=1>

GREENHOUSE GAS PROTOCOL. (sf). *GREENHOUSE GAS PROTOCOL - Estándares para medir y gestionar las emisiones*. Obtenido de <https://ghgprotocol.org/about-us>

Gutiérrez , M. E., & Espinosa, T. (2010). *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático*. Banco Interamericano de Desarrollo, Unidad de Energía Sostenible y Cambio Climático, Departamento de Infraestructura y Medio Ambiente, Estados Unidos. doi:www.iadb.org

Hernandez-Sampieri, R., & Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4). México: McGraw-Hill Interamericana.

IDEAM - UNAL. (2018). *Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia* (Vols. SBN: 978-958-8067-97-1). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia - IDEAM. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>

IDEAM. (1998). *El medio ambiente en Colombia*. Técnico, Santa Fe de Bogotá. Recuperado el 2 de 8 de 2020, de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

IDEAM. (2014). *Atlas Climatológico de Colombia 1981-2010*. Recuperado el 2 de 2 de 2022, de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

IDEAM. (2015). Boletín informativo 84. Sobre el monitoreo de los fenómenos de variabilidad climática "El Niño" y "La Niña", Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/boletin-de-seguimiento-fenomeno-el-nino-y-la-nina?p\\_p\\_id=110\\_INSTANCE\\_I6NwA8DioHgN&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_110\\_INSTANCE\\_I6NwA8DioHgN\\_struts\\_action=%2Fdo](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/boletin-de-seguimiento-fenomeno-el-nino-y-la-nina?p_p_id=110_INSTANCE_I6NwA8DioHgN&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_110_INSTANCE_I6NwA8DioHgN_struts_action=%2Fdo)

IDEAM. (2016). *Anuario climatológico - Boletín climatológico 2016*. técnico. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual?p\\_p\\_id=110\\_INSTANCE\\_xYvIPc4uxk1Y&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=2&\\_110\\_INSTANCE\\_xYvIPc4uxk1Y\\_struts\\_action=%2Fdocument\\_library\\_display%2Fvie](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/climatologico-mensual?p_p_id=110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=2&_110_INSTANCE_xYvIPc4uxk1Y_struts_action=%2Fdocument_library_display%2Fvie)

IDEAM. (2017). *Climagramas Sucre*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023777/CLIMA.pdf>

IDEAM. (2019). *BOLETÍN DE MONITOREO FENOMENO EL NIÑO Y LA NIÑA*. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/boletin-de-seguimiento-fenomeno-el-nino-y-la-nina-/document\\_library\\_display/I6NwA8DioHgN/view/93551524?\\_110\\_INSTA](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/boletin-de-seguimiento-fenomeno-el-nino-y-la-nina-/document_library_display/I6NwA8DioHgN/view/93551524?_110_INSTA)

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

NCE\_I6NwA8DioHgN\_redirect=http%3A%2F%2Fwww.ideam.gov.co%2Fweb%2Ftiempo-y-clima%2Fboletin-de-seguim

IDEAM. (2 de agosto de 2021). *TIEMPO Y CLIMA*. Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>

INVEMAR - MINAMBIENTE. (2018). *FORMULACIÓN DEL PLAN DE CAMBIO CLIMÁTICO - PARA PUERTOS MARITIMOS DE COLOMBIA*.

Recuperado el 28 de marzo de 2021, de

[https://plan4c.cartagena.gov.co/wp-content/uploads/2018/06/20151124085730\\_Presentaci%C3%B3n-conjunta\\_Plan-Puertos-Mar%C3%ADtimos.pdf](https://plan4c.cartagena.gov.co/wp-content/uploads/2018/06/20151124085730_Presentaci%C3%B3n-conjunta_Plan-Puertos-Mar%C3%ADtimos.pdf)

INVEMAR, PNUD. (2017). *Tercera Comunicación Nacional de Cambio*

*Climático - Resumen Ejecutivo*. Obtenido de

[http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023732/RESUMEN\\_EJECUTIVO\\_TCNCC\\_COLOMBIA.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023732/RESUMEN_EJECUTIVO_TCNCC_COLOMBIA.pdf)

Invemar-Ministerio de Ambiente- Carsucre- CVS- BID. (2002). *Formulación del*

*plan de manejo integrado de la unidad ambiental costera estuarina del rio Sinú y golfo de Morrosquillo, caribe Colombiano, informe técnico*

*Fase I – Caracterización y diagnóstico*. Técnico. Obtenido de

<http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/uacmorrosquillo.pdf>

IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los*

*Grupos de trabajo I, II y III*. Informe de evaluación del Grupo

Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático, Ginebra

Suiza. Recuperado el 17 de 9 de 2021, de

[https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf)



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de Políticas*. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático, Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza,; [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D Mastrandrea. T.E. Bilir, M Chatterjee. K.L Ebi. Y-O Estrada. R.C Genova, B Girma. E.S Kissel, A.N.Levy, S. MacCracken, P.R mastrandrea y LL White (eds). Recuperado el 2 de 4 de 2021, de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5\\_wgII\\_spm\\_es-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf)
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Recuperado el 10 de septiembre de 2021, de [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf)
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L., [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou . Cambridge University Press. In.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022; mpacts, Adaptation and Vulnerability, the Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report*.

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

iStock by getty images. (s.f). *Istock - Mapa de Colombia*. Obtenido de

<https://www.istockphoto.com/es/ilustraciones/mapa-colombia>

Julián Rodrigo, J., & Quintero González, L. (2015). Energía mareomotriz: potencial energético y medio ambiente. *Gestión y Ambiente*, 18(2), 121-134. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169443282007>

Kim, H. (2021). *Tecnologies for adapting to climate change*. ECLAC. santiago: United nations publication.

Latam Green. (11 de 3 de 2022). *LATAMGREEN*. (J. González, Editor)

Recuperado el 15 de 3 de 2022, de <https://latam-green.com/compas-colombia-recibio-sello-verde-por-compromiso-ambiental/>

LEY 1 DE 1991. (s.f.). *Reglamentada por el Decreto 4735 de 2009*,

*Reglamentada parcialmente por el Decreto 1589 de 2004*,

*Reglamentada por el Decreto 474 de 2015*. Recuperado el 2021 de marzo de 2021, de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=67055#:~:text=A%20ninguna%20persona%20se%20le,de%20las%20que%20consideren%20necesarias.>

Ley-1931. (2018). *Por la cual se establecen directrices para la gestión del*

*Cambio Climático*. Bogotá. Recuperado el 1 de 10 de 2010, de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87765>

Magaña, V., Conde, C., & Sánchez, Ó. (2000). *EVALUACIÓN DE*

*ESCENARIOS REGIONALES DE CLIMA ACTUAL Y DE CAMBIO*.

Mexico. Recuperado el 3 de abril de 2021, de

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

[https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Gay-](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Gay-Garcia/publication/267721218_EVALUACION_DE_ESCENARIOS_REGIONALES_DE_CLIMA_ACTUAL_Y_DE_CAMBIO_CLIMATICO_FUTURO_PARA_MEXICO/links/54938e860cf22d7925da3200/EVALUACION-DE-ESCENARIOS-REGIONALES-DE-CLIMA-ACTUAL-Y-)

[Garcia/publication/267721218\\_EVALUACION\\_DE\\_ESCENARIOS\\_REGIONALES\\_DE\\_CLIMA\\_ACTUAL\\_Y\\_DE\\_CAMBIO\\_CLIMATICO\\_FUTURO\\_PARA\\_MEXICO/links/54938e860cf22d7925da3200/EVALUACION-DE-ESCENARIOS-REGIONALES-DE-CLIMA-ACTUAL-Y-](https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Gay-Garcia/publication/267721218_EVALUACION_DE_ESCENARIOS_REGIONALES_DE_CLIMA_ACTUAL_Y_DE_CAMBIO_CLIMATICO_FUTURO_PARA_MEXICO/links/54938e860cf22d7925da3200/EVALUACION-DE-ESCENARIOS-REGIONALES-DE-CLIMA-ACTUAL-Y-)

Mena Munguia, S., Ceballos Cardenas, F., & Ramírez Martínez, M. (2013).

*Almacenamiento y Conservación de granos*. Mexico: Universidad de

Guadalajara. Obtenido de

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3QYIEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=afectaci%C3%B3n+de+graneles+alimenticios+por+cambios+de+temperatura&ots=9gUR3u57Lo&sig=TMaV8MFboqZw\\_osRQ0Q4vI4Tj2c#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3QYIEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=afectaci%C3%B3n+de+graneles+alimenticios+por+cambios+de+temperatura&ots=9gUR3u57Lo&sig=TMaV8MFboqZw_osRQ0Q4vI4Tj2c#v=onepage&q&f=false)

Minambiente. (26 de 7 de 2021). *Minambiente*. Recuperado el 11 de 11 de

2021, de [https://www.grupo-](https://www.grupo-epm.com/site/museodelagua20viejo/manglares#:~:text=Seg%C3%BAn%20el%20Ministerio%20de%20Ambiente,facultativas)%20combinados%20con%20agua%20dulce)

[epm.com/site/museodelagua20viejo/manglares#:~:text=Seg%C3%BAn%20el%20Ministerio%20de%20Ambiente,facultativas\)%20combinados%20con%20agua%20dulce](https://www.grupo-epm.com/site/museodelagua20viejo/manglares#:~:text=Seg%C3%BAn%20el%20Ministerio%20de%20Ambiente,facultativas)%20combinados%20con%20agua%20dulce).

Minambiente. (2021). *Riesgo, Amenaza, Exposición y Vulnerabilidad*. Obtenido

de

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/477->

Minambiente. (s.f). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Recuperado

el 1 de abril de 2021, de Decreto 926 de 2017:

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/decreto-926-de-2017>

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Minambiente; Invermar; Mintransporte. (2016). *PLAN DE GESTIÓN DEL*

*CAMBIO CLIMÁTICO PARA LOS PUERTOS DE COLOMBIA Y HOJA*

*DE RUTA GUIA PARA FACILITAR A LOS TOMADORES.* Oficial,

Bogotá.

doi:[https://www.ani.gov.co/sites/default/files/u789/plan\\_cambio\\_climatico\\_puertos.pdf](https://www.ani.gov.co/sites/default/files/u789/plan_cambio_climatico_puertos.pdf)

Mincomercio. (2021). *Contexto Macroeconómico de Colombia.* Datos generales

Macroeconomicos de Colombia 2020, Oficina de estudios Económico.

Recuperado el 2021 de 9 de 2021, de

<https://www.mincit.gov.co/getattachment/1c8db89b-efed-46ec-b2a1-56513399bd09/Colombia.aspx>

Ministerio de Fomento -Gobierno de España. (2012). *Recomendaciones para*

*obras marítimas y ejecución en obras de atraque y amarre- Ministerio de*

*fomento.* Madrid. Obtenido de [https://www.puertos.es/es-](https://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%202.0-11.pdf)

[es/BibliotecaV2/ROM%202.0-11.pdf](https://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%202.0-11.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (01 de abril de 2022). *Energías renovables no*

*convencionales.* Recuperado el 1 de Abril de 2021, de

<https://www.minenergia.gov.co/energias-renovables-no-convencionales>

Ministerio de Transporte de Colombia. (1 de marzo de 2021). Obtenido de

Mintransporte: [https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/8154/en-](https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/8154/en-2019-se-movilizaron-mas-de-195-millones-de-toneladas-en-las-zonas-portuarias-de-colombia-supertransporte/)

[2019-se-movilizaron-mas-de-195-millones-de-toneladas-en-las-zonas-](https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/8154/en-2019-se-movilizaron-mas-de-195-millones-de-toneladas-en-las-zonas-portuarias-de-colombia-supertransporte/)

[portuarias-de-colombia-supertransporte/](https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/8154/en-2019-se-movilizaron-mas-de-195-millones-de-toneladas-en-las-zonas-portuarias-de-colombia-supertransporte/)

Moreno, A., & Becken, S. (2009). *A climate change vulnerability assessment*

*methodology for coastal tourism.* Journal of Sustainable Tourism.

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Recuperado el 10 de 08 de 2021, de

<http://dx.doi.org/10.1080/09669580802651681>

Naciones Unidas. (1992). *Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMATICO. Recuperado el 10 de 09 de 2021, de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Naciones Unidas. (2020). Adaptación al cambio climático de los puertos marítimos en apoyo a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. GE.20-01940 (S) 040320 060320*, pág. 20. Ginebra: Nota de la secretaría de la UNCTAD - Naciones Unidas. Recuperado el 15 de marzo de 2021, de [https://unctad.org/system/files/official-document/cimem7d23\\_es.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/cimem7d23_es.pdf)

Ñaupás, Paitán, H., Valdivia, Dueñas, M. R., Palacio, Vilela, J. J., & Romero, Delgado, H. E. (2013). *Metodología de la investigación - Cuantitativa y Redacción de Tesis*. Bogotá: Ediciones la U. Obtenido de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/stage.aspx?il=&pg=&ed=>

Olivo, M. d., Lettherny, E., Platt Ramos, C., & Sosa, M. (2001). Pérdida de tierras en la costa venezolana debido al incremento del nivel del mar. (Interciencia, Ed.) *SciELO - Scientific Electronic Library Online*, 26(10), 463-468. Recuperado el 06 de March de 2021, de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442001001000007&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442001001000007&lng=en&tlng=en)

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

PNACC. (2013). *HOJA DE RUTA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS PLANES DE ADAPTACIÓN DENTRO DEL PLAN NACIONAL DE ADPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO*. Técnico. Recuperado el 15 de 3 de 2021, de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/PNACC%202013%20hoja%20ruta.pdf>

Portal Portuario. (17 de febrero de 2021). Obtenido de <https://portalportuario.cl/autoridad-portuaria-y-municipio-de-rotterdam-unen-fuerzas-para-responder-a-aumento-de-nivel-del-mar-en-el-puerto/>

PortalPortuari. (17 de febrero de 2021). *PortalPortuari*. Obtenido de <https://portalportuario.cl/autoridad-portuaria-y-municipio-de-rotterdam-unen-fuerzas-para-responder-a-aumento-de-nivel-del-mar-en-el-puerto/>

Prosertek.com. (2021). *PUERTOS EN NORTEAMÉRICA*. Recuperado el junio de 2021, de <https://prosertek.com/es/descargas/descargas-gracias/?from=puertos-en-norteamerica>

R Core Team. (2020). Libre. (: A. computing., Productor, & R Fundation for Statistical Computing Viena- Austria) Obtenido de <https://www.R-project.org/>

Rangel Buitrago, N. G., & Posada-Posada, B. O. (2013). Determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero mediante la aplicación de herramientas sig y metodos multicriterio. 8, 29-42. Recuperado el 14 de 10 de 2021, de <file:///C:/Users/Gilma%20Fuentes/Downloads/Dialnet-DeterminacionDeLaVulnerabilidadYEIRiesgoCosteroMed-4866020.pdf>

Rodríguez Araujo, M., Chaparro Millán, W., Vargas Ramos, J., & Monroy Vargas, E. (2018). *ACCIONES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO, UNA*

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

*VISION COMPARATIVA ENTRE BOGOTÁ Y DUBAI.* Universidad Piloto de Colombia. Bogotá: Facultad de Ingeniería. Obtenido de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004732.pdf>

Rodriguez Rivera, J. A., & Rubio Maury, A. G. (2006). *Guía Metodologica para la Regeneración de la bahia de Santa Marta D.T.C.H delimitada entre Punta Betin y Punta San Fernando.* Santa Marta: Universidad del Magdalena - Facultad de Ingeniería. Recuperado el 22 de 10 de 2020, de <https://core.ac.uk/download/pdf/198276734.pdf>

Rodriguez Rivera, J., Rubio Maury, A., & Martinez Escoria, N. (2006). *Guía Metodológica para la regeneración de la bahia de santa Marta D.T.C.H delimitaa entre Punta Betin y Punta San Fernando.* Tesis, Universidad del Magdalena, Santa Marta D.T.C.H. doi:<http://repositorio.unimagdalena.edu.co/jspui/handle/123456789/309>

Sánchez, F. J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea.* Createspace Independent Pub. Obtenido de <https://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>

Sarduy, D. Y. (2007). *Revista Cubana de Salud Pública*, 33(3), 33(3). Recuperado el 28 de 4 de 2021, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-34662007000300020&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662007000300020&lng=es&tlng=es).

Sarmiento Lugo, B., & Fernández Hernández, F. (2013). *Estadística Descriptiva Introducción al análisis de datos.* (A. G. M, Ed.) Bogota: Ediciones de la U. Recuperado el 28 de 4 de 2021, de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/stage.aspx?il=&pg=&ed=>

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Secretaria de Comunicaciones y Transportes. (16 de febrero de 2021). Acuerdo por el que se aprueban los programas institucionales de las administradoras Portuarias Integrales 2020-2024. (D. Oficial, Ed.) *Diario Oficial - secretaria de Comunicaciones y Transporte*, pág. 265. Obtenido de [http://www.dof.gob.mx/2021/SCT/SCT\\_160221.pdf](http://www.dof.gob.mx/2021/SCT/SCT_160221.pdf)

sitio, U. e. (17 de febrero de 2020). *Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Universidad ean: <https://universidadean.edu.co/programas/maestrias/maestria-en-proyectos-de-desarrollo-sostenible>

Supertransporte. (2021). *Boletín Estadístico - TRÁFICO PORTUARIO EN COLOMBIA*. Oficial. Recuperado el 24 de Febrero de 2021, de [https://www.supertransporte.gov.co/documentos/2021/Febrero/Puertos\\_04/BOLETIN-TRAFICO-PORTUARIO-2020.pdf](https://www.supertransporte.gov.co/documentos/2021/Febrero/Puertos_04/BOLETIN-TRAFICO-PORTUARIO-2020.pdf)

Supertransporte. (2021a). *Boletín Estadístico Tráfico Portuario En Colombia*. Reporte anual, Bogotá. Recuperado el 2 de 2 de 2022, de [https://www.supertransporte.gov.co/documentos/2022/Febrero/Puertos\\_10/BOLETIN-TRAFICO-PORTUARIO-ANO2021.pdf](https://www.supertransporte.gov.co/documentos/2022/Febrero/Puertos_10/BOLETIN-TRAFICO-PORTUARIO-ANO2021.pdf)

Tideschart. (2021). *Tideschart*. Obtenido de Tideschart: <https://es.tideschart.com/Colombia/Sucre/Santiago-de-Tolu/>

Tustin, MD, A., Lamson, G., Jacklitsch, B., Thomas, R., Arbury, S., Cannon, D., . . . Hodgson, M. (2018). Evaluación de los límites de exposición ocupacional para el estrés por calor en trabajadores al aire libre - estados Unidos, 2011-2016. *Centers For Disease Control and Prevention*.



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

UNCTAD-Naciones Unidas. (2020). Adaptación al cambio climático de los puertos marítimos en apoyo de la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. *Conferencia de la Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo*. Ginebra. Recuperado el 1 de 4 de 2021, de [https://unctad.org/system/files/official-document/cimem7d23\\_es.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/cimem7d23_es.pdf)

Vargas Gómez, O., & Molina Prieto, L. (2014). Arborizaciones urbanas. *Dialnet*, 8(16), 99-108. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5646254>

Vargas Gomez, O., & Molina Prieto, L. (2014). Arborizaciones urbanas: Estrategia para reducir el calentamiento global. *Revista Nodos*, 8(16), 99-108.

Wei, W. W.-S. (2006). *Times serie analysis*. Pearson Addison Wesley.

Wei, W. W.-S. (2006). *Times serie analysis*. Pearson Addison Wesley.

Wheelen L, T., & Hunger , D. J. (2007). *Administración Estratégica y Política de Negocios - Conceptos y Casos*. México: Décima edición. Recuperado el 30 de 4 de 2021, de [http://aulavirtual.iberoamericana.edu.co/recursosel/documentos\\_para\\_descarga/2.%20Wheelen,%20T.,%20Hunger,%20J.%20\(2007\).pdf](http://aulavirtual.iberoamericana.edu.co/recursosel/documentos_para_descarga/2.%20Wheelen,%20T.,%20Hunger,%20J.%20(2007).pdf)

WWF. (2020). Obtenido de <https://www.wwf.org.co/?365418/Con-su-nueva-meta-de-reduccion-de-emisiones-Colombia-refuerza-su-compromiso-frente-al-cambio-climatico-y-asume-una-mayor-ambicion>

Yáñez-Arancibia, A., Twilley, R., & Lara Domínguez, A. (1998). Los ecosistemas de manglar frente al cambio climático global." *Madera y Bosques*. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe*,

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

*España y Portugal redalyc.org, 4(2), 3-19. Recuperado el 25 de marzo de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/617/61740202.pdf>*

## 11. Anexos

**Anexo 1 Carta de aval de la empresa para realizar la intervención.**



Bogotá 26 de mayo de 2021

Señores,

**Comité de Trabajos de Grado**  
**Universidad EAN**  
Bogotá

Respetados señores,

Por medio de la presente nos permitimos autorizar a Zulady Pretel Palacios y Gilma Cecilia Fuentes, identificadas con cedula de ciudadanía 66'944.882 y 40'941037, respectivamente, estudiantes del programa de la Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible de la Universidad EAN, para que realice en nuestra organización Compas - Compañía de Puertos Asociados S.A, su trabajo de grado titulado: Índice de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú, bajo la modalidad de trabajo dirigido.

Como empresa nos comprometemos a brindar la información requerida para adelantar este proyecto académico, así mismo, autorizamos que el documento resultado de este trabajo sea publicado en el repositorio documental Minerva de la Universidad EAN.

A continuación, relacionamos los datos de la persona que será el contacto designado por la empresa.

**SANTIAGO VALDERRAMA**  
Vicepresidente de Operaciones Compas (Cargo en firme a partir del 1 de Junio de 2021)  
Cel: 3145160106. Correo electrónico: svalderrama@compas.com.co

Cordialmente,

  
**ANDRES OSORIO BARRERA**  
**PRESIDENTE COMPAS S.A.**  
Correo electrónico: aosorio@compas.com.co



[www.compas.com.co](http://www.compas.com.co)  
NIT 800.156.044-6

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Para la validación de la encuesta (instrumento de medición de variables de estudio), se aplicó el procedimiento metodológico propuesto en la unidad de estudio, el cual consiste en identificar y seleccionar un total de cinco (5) expertos.

*Tabla 46 Relación de los expertos evaluadores de encuesta*

Evaluador No	Cargo	Experiencia
Evaluador 1	Consultor región Caribe MECDBC - Profesional de Ordenamiento territorial y Cambio climático de PNN - DTCA	8 años en entidades públicas de nivel nacional y departamental en temas relacionados con cambio climático, manejo integrado de zonas costeras y ordenamiento territorial
Evaluador 2	Docente universidad EAN; Seminario de Investigación	Ingeniera Industrial, Magister en Administración, especialista en Gerencia y Administración de Sistemas de Gestión de Calidad. Con habilidades desarrolladas en mejoramiento de procesos operativos, tácticos, estratégicos y metodología de proyectos
Evaluador 3	Directora de la Maestría en proyectos de desarrollo sostenible e Ingeniería ambiental U. EAN	PhD en Proyectos de investigación ambiental, Máster en medio ambiente y desarrollo sostenible, Ing. Agrónoma.
Evaluador 4	Consultor en Cambio Climático - BDS Group	4 años de experiencia en asesoría sobre cambio climático y sostenibilidad al sector empresarial.
Evaluador 5	Universidad Autónoma de Occidente, Colombia y director de Proyectos de Energías Renovables para Todos - RE4	Doctor. sobre Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Universidad de Zaragoza, España. Investigador que trabaja en diseño, dimensionamiento, modelado, simulación y análisis de sistemas de energía renovable. Miembro senior de IEEE y miembro de la Sociedad Internacional de Energía Solar

Fuente: Elaboración propia a partir de información brindada por cada experto.

A los expertos se les solicito valorar de acuerdo con sus conocimientos el grado de validez de las variables propuestas, es decir, si las preguntas diseñadas en relación con las variables a medir cumplen con los siguientes criterios: 1. Claridad de la redacción, 2. Enfoque conceptual, 3. Relación pregunta variable.

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Para el ejercicio se utilizó el instrumento de medición<sup>14</sup>, el cual fue enviado vía correo electrónico, cada evaluador realizó su respectivo análisis y calificó 1 si considera que era adecuada la pregunta en relación con el aspecto evaluado, o con 0 si considera que no lo era la fórmula del coeficiente de V de Aiken es:

$$V = \frac{S}{(n(C-1))}$$

Donde:

V es el coeficiente de validación V de Aiken

S es la sumatoria de las calificaciones por pregunta

N es el número de evaluadores

Del resultado del ejercicio se encontró un total de diez (10) las cuales obtuvieron calificación de V de Aiken de uno (1) por lo tanto, no fueron modificadas, mientras que un total de cinco (5) preguntas obtuvieron calificación de 0,93 y dos (2) preguntas con calificación de 0,83, presentaron observaciones de parte de los expertos evaluadores, por lo tanto, fueron ajustadas en cuanto a redacción y enfoque. A continuación, en la tabla No. 7 se identifica el número de cada una de las preguntas modificadas y columna con la respectiva observación.

*Tabla 47 Resultado de validación cálculo del Coeficiente de V de Aiken*

Variable	Ítem número de pregunta	V de Aiken Calculada	Observación
Reconocimiento del tema	3	0,93	Con modificación en la redacción
Sensibilidad	5	1,00	Se modificó la variable
Riesgos y Oportunidades	7	0,93	Con una modificación mínima en la redacción
Riesgos y Oportunidades			Se incluyo como nueva pregunta
Adaptación y mitigación	12	0,93	Con modificación en la redacción

<sup>14</sup> Herramienta de Validación Instrumento de medición de encuesta del estudio- facilitado por la docente en el Seminario Investigación - Maestría - Trabajo dirigido - Grupo 5 - Virtual - Primer Semestre – 2021.

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Variable	Ítem número de pregunta	V de Aiken Calculada	Observación
Sensibilidad	14	0,93	Con modificación en la redacción
Adaptación	15	1,00	Sin modificación, pero con una adición de pregunta
			Pregunta adicional
	16	0,87	Con modificación en la redacción
	17	0,87	Con modificación en la redacción

Fuente: Elaboración propia a partir de resultados del ejercicio de validación por los expertos del instrumento de medición.

### Anexo 3 Encuesta aplicada a empleados seleccionados de COMPAS.

Nombre:

Cargo:

Experiencia:

Variable	Ítem	Pregunta	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Reconocimiento del tema	1	¿Reconoce el concepto de cambio climático?					
	2	¿Identifica las razones que han propiciado el cambio climático?					
	3	¿Conoce las implicaciones del cambio climático?					
Vulnerabilidad	4	¿Considera que el cambio climático puede afectar el sector portuario?					

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Variable	Ítem	Pregunta	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Grado de exposición	5	¿Considera usted que las instalaciones portuarias de Compas pueden ser afectadas por el cambio climático?					
Sensibilidad	6	Considera que esa afectación puede darse en:	a. La infraestructura física	b. Aumento de enfermedades	c. Operación	d. Riesgo reputacional	e. Todas las anteriores
Riesgos y Oportunidades	7	¿Considera que compas, identifica que tan vulnerable es frente a los cambios climáticos?					
Riesgos y oportunidades	8	¿Visualiza oportunidades para Compas asociadas al cambio climático?					
Riesgos y Oportunidades	9	¿Considera que a nivel sectorial se ha reconocido la importancia del cambio climático y sus implicaciones?					
Adaptación y mitigación	10	¿Reconoce medidas concretas de adaptación y mitigación al cambio climático?					
Adaptación y mitigación	11	¿Considera usted que estas medidas han sido involucradas en las diversas					

Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Variable	Ítem	Pregunta	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
		actividades en Compas?					
Adaptación y mitigación	12	¿Considera que Compas ha implementado medidas efectivas?					
Vulnerabilidad	13	¿Identifica las amenazas asociadas a cambio climático, que pueden afectar las comunidades de las zonas de influencia de las instalaciones portuarias (IP)?					
Sensibilidad	14	¿Cuáles de las siguientes áreas sensibles al cambio climático pueden afectar a las comunidades de la zona de influencia directa?	a. salud	b. económico	c. seguridad alimentaria	d. Vivienda	e. Todas las anteriores
Adaptación	15	¿Reconoce medidas de adaptación que puedan ser implementadas en estas zonas donde se encuentran ubicadas las comunidades del área de influencia?					



Análisis de vulnerabilidad y medidas de adaptación de cambio climático para el puerto Compas Tolú.

Variable	Ítem	Pregunta	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
Adaptación	16	¿Identifica políticas, planes y/o estrategias orientadas a la adaptación y mitigación del cambio climático en las zonas de influencia de los puertos de Compas?					
Adaptación	17	¿Identifica programas y/o proyectos orientados a la adaptación y mitigación del cambio climático en las zonas de influencia de los puertos de Compas?					

Fuente: Elaboración propia de autores., a partir de metodología de validación expuesta.

#### Anexo 4 Género y cargo de los entrevistados

Etiquetas de fila	F	M	Total, general
Ambiental	6		6
Gerente infraestructura y director		4	4
Gerentes comerciales	2	2	4
Gerentes de puerto		6	6
Junta directiva		2	2
Operaciones	1	3	4
Presidente compañía		1	1
Riesgos	2	1	3
Salud y seguridad en el trabajo		2	2
Sostenibilidad	2	1	3
Vicepresidentes		2	2
<b>Total, general</b>	<b>13</b>	<b>24</b>	<b>37</b>

Fuente: Elaboración propia de autores., a partir de metodología de validación expuesta.